This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

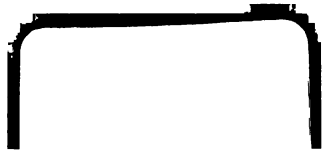
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

3 3433 06272925 0



D-IEX
Lefevre

ENCYCLOPÉDIE DE CHIMIE INDUSTRIELLE

CARBURE DE CALCIUM

ET

ACÉTYLÈNE

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

DICTIONNAIRE D'ÉLECTRICITÉ ET DE MAGNÉTISME, comprenant les applications aux sciences, aux arts et à l'industrie, 1895, 1 vol. gr. in-8 de 1,160 p., avec 1,285 fig. . . . . 30 fr.

LA PHOTOGRAPHIE et ses applications aux sciences, aux arts et à l'industrie, 1888, 1 vol. in-16 de 382 p., avec 95 fig. et spécimens de procédés de reproduction *(Biblioth. scientifique contemporaine)*. . . . . 3 fr. 50

L'ÉLECTRICITÉ A LA MAISON, 1889, 1 vol. in-18 de 396 p., avec 209 fig. *(Bibliothèque des connaissances utiles)*. Cart. . . . . 4 fr.

LE CHAUFFAGE ET LES APPLICATIONS DE LA CHALEUR dans l'industrie et l'économie domestique, 1 vol. in-18 de 355 p., avec 188 fig., cart. *(Bibliothèque des connaissances utiles)*. . . . . 4 fr.

SAVONS ET BOUGIES, 1894, 1 vol. in-18, avec 116 fig., cart. *(Encyclopédie de chimie industrielle)*. . . . . 5 fr.

LES NOUVEAUTÉS ÉLECTRIQUES, 1896, 1 vol. in-18, avec fig., cart. *(Biblioth. des connaissances utiles)*. . . . . 4 fr.

LES MOTEURS (moteurs hydrauliques, moulins à vent, moteurs à gaz tonnants), 1896, 1 vol. in-18, avec 141 fig., cart. *(Bibliothèque des connaissances utiles)*. . . . . 4 fr.

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

BOUANT (E.). — *Nouveau dictionnaire de chimie*, comprenant les applications aux sciences, aux arts, à l'agriculture et à l'industrie, 1889, 1 vol. gr. in-8 de 1,120 pages, avec 650 fig. . . . . 25 fr.

GUICHARD (P.). — *Précis de Chimie industrielle*, Notation atomique, 1891, in-18 jésus de 422 pages, avec 68 fig., cart. . . . . 5 fr.

HALPHEN (G.). — *La pratique des essais commerciaux et industriels*, par G. HALPHEN, chimiste au laboratoire du Ministère du commerce, 1892, 2 vol. in-18 jésus, cart. — Matières minérales, 1 vol. — Matières organiques, 1 vol. — Chaque volume. . . . . 4 fr.

LEJEAL. — *L'Aluminium*, le Manganèse, le Baryum, le Strontium, le Calcium et le Magnésium, 1894, in-18 jésus de 357 pages, avec 36 fig., cart. *(Encyclopédie de chimie industrielle)*. . . . . 5 fr.

JUNGFLEISCH (E.). — *Manipulations de chimie*. Guide pour les travaux pratiques de chimie, 1893, 1 vol. gr. in-8, de 1,180 pages, avec 374 fig., cart. 25 fr.

LONDE (A.). — *Aide-mémoire de photographie*, 1897, in-18 de 320 pages, avec 51 fig. et 1 pl. en photocollographie, cart. . . . . 4 fr.

MONTILLOT (L.). — *L'éclairage électrique*, guide pratique des électriciens et des amateurs, 1894, in 18 jésus de 408 pages, avec 190 pages, cart. . 4 fr.

— *La télégraphie actuelle* en France et à l'étranger, lignes, réseaux, appareils, téléphones, 1889, 1 vol. in-18 de 334 pages, avec 131 fig. . . . . 3 fr. 50

MONT-SERRAT et BRISAC. — *Le gaz et ses applications*, éclairage, chauffage, force motrice, 1892, in-18 de 368 pages, avec 86 fig., cart. . . . . 4 fr.

POULENC (C.). — *Les nouveautés chimiques*. Nouveaux appareils de laboratoire, méthodes nouvelles de recherches appliquées à la Science et à l'Industrie, 1897, 1 vol. in-8 de 248 pages, avec 160 fig. . . . . 5 fr.

SAPORTA (Ant. de). — *Les théories et les notations de la chimie moderne*, 1889, 1 vol. in-16, 336 pages et fig. . . . . 3 fr. 50

SCHŒLLER (A.). — *Les chemins de fer et les tramways*, 1892, in 16 de 342 pages, avec 90 fig. . . . . 3 fr. 50

WITZ (A.). — *La machine à vapeur*, 1891, 1 vol. in-18, 324 pages, avec 80 fig., cart. . . . . 4 fr.

CHARTRES. — IMPRIMERIE DURAND, RUE FULBERT.

JULIEN LEFÈVRE
Docteur ès sciences
Professeur à l'École des Sciences de Nantes.

CARBURE DE CALCIUM
ET
ACÉTYLÈNE

Avec 105 figures intercalées dans le texte

CARBURE DE CALCIUM
Brevets. — Fabrication. — Fours électriques.
Propriétés des carbures alcalino-terreux.

ACÉTYLÈNE
Préparation. — Appareils générateurs.
Propriétés
Brûleurs. — Lampes portatives.
Eclairage des voitures et des wagons.
Autres applications. — Toxicité. — Explosibilité.

PARIS
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS
Rue Hautefeuille, 19, près du boulevard Saint-Germain

1898
Tous droits réservés
C.W.H.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
98723
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
1898.

PRÉFACE

L'Association française pour l'avancement des sciences a bien voulu, il y a quelques mois, nous charger d'une des conférences qu'elle organise, chaque hiver, dans l'Hôtel des Sociétés savantes de la rue Serpente et nous confier le soin d'exposer, devant le public nombreux et instruit qui suit assidûment ces conférences, la question si actuelle de l'*Acétylène*.

Le livre que nous offrons aujourd'hui au public n'est que le développement de cette conférence.

C'est seulement dans notre siècle que l'art de l'éclairage, qui répond cependant à un de nos plus impérieux besoins, a pris un sérieux développement. La flamme du gaz, puis la lumière électrique, ont remplacé les chandelles fumeuses et déversent, dans nos appartements et dans nos rues, une profusion de lumière inconnue de nos ancêtres. Voici qu'un nouvel illuminant, l'acétylène, cherche à se faire une place entre les deux précédents.

Étrange phénomène! Chacun de ces agents, qui constituait pour nous une nouvelle source de bien-être, a soulevé, lors de son apparition, de vives critiques et des défiances excessives, compensées, il est vrai, par des éloges exagérés et des promesses merveilleuses.

Ce fait, que nous nous rappelons tous avoir vu se produire à l'apparition de la lumière électrique, il y a une quinzaine d'années, nous pourrions le retrouver dans l'histoire du gaz d'éclairage[1]; nous le constatons encore aujourd'hui pour le *gaz électrique,* comme l'appellent les Américains. Vanté sans mesure par les uns, cet illuminant est appelé, dit-on, à produire « une révolution dans l'éclairage ». « L'acétylène, dit-on encore, est destiné à éclairer le monde. » D'autres affirment que sa vogue passera bien vite et que ses succès n'auront pas de lendemain. La vérité me paraît être entre ces deux opinions extrêmes, et j'estime que l'acétylène ne mérite

Ni cet excès d'honneur, ni cette indignité.

Bien que l'acétylène ne puisse pas, dès aujourd'hui, et il est probable qu'il ne le pourra jamais, remplacer tous les autres illuminants, bien qu'il ne puisse pas en-

1. Accum, *Traité pratique d'éclairage par le gaz inflammable*, traduit par Winsor; Paris, 1816.

core, pratiquement, servir à toutes les applications auxquelles il convient en théorie, il peut déjà, cependant, rendre de réels services et être employé pour l'éclairage, sans danger et avec économie, dans certains cas bien déterminés et pourvu qu'on se conforme aux prescriptions dictées par la prudence la plus élémentaire.

Les premiers chapitres de cet ouvrage sont consacrés au carbure ou acétylure de calcium, substance employée actuellement, comme on le sait, pour préparer l'acétylène, ainsi qu'aux fours électriques, qui servent à le fabriquer. La plus grande partie du volume est réservée naturellement à l'acétylène: préparation, appareils générateurs, propriétés, applications. Nous terminons par une étude très complète des objections qu'on oppose parfois à l'emploi de l'acétylène, mauvaise odeur, action sur les métaux, toxicité et explosibilité, et nous réduisons ces critiques, parfois intéressées, à leur juste valeur.

Nous nous sommes efforcé de traiter la question aussi complètement que possible et de mettre le lecteur au courant de tous les travaux, même les plus récents, relatifs à l'acétylène. Pour cela, nous avons fait de larges emprunts aux mémoires originaux des savants qui se sont occupés de ce corps et en particulier à ceux de MM. Moissan, Berthelot et Vieille, Gréhant, Le Chatelier, etc. Nous sommes heureux de

remercier ici les personnes qui ont bien voulu nous venir en aide et nous fournir des renseignements nouveaux et intéressants, notamment M. Bullier, de la Société des Carbures Métalliques, M. de Perrodil, Ingénieur civil, M. Chaperon, Ingénieur en chef de la Compagnie des chemins de fer P.-L.-M., M. Charles Clérault, Ingénieur en chef de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

J. L.

Août 1897.

L'ACÉTYLÈNE

INTRODUCTION

Quoique peu connu jusqu'à ces dernières années, l'acétylène n'est pas un nouveau venu dans la science. C'est en 1836 qu'il a été obtenu par Edmond Davy, en traitant par l'eau la masse noire qui se produit dans la préparation du potassium au moyen de la crème de tartre et du charbon. Cette observation isolée était complètement tombée dans l'oubli, lorsque M. Berthelot montra, de 1859 à 1863, que ce gaz se forme dans un grand nombre de circonstances et peut même être reproduit directement par synthèse, en faisant jaillir l'arc électrique entre deux baguettes de charbon bien pur, dans un courant d'hydrogène.

Quelques mois après les recherches de M. Berthelot, Wöhler obtint, par l'action du carbone sur un alliage de zinc et de calcium (alliage Caron), une masse noire, pulvérulente, qui, au contact de l'eau froide, dégageait un mélange gazeux dont l'analyse n'a jamais été complètement faite, mais qui renfermait de l'acétylène.

En 1861, Sawitsch avait aussi préparé l'acétylène en faisant agir l'amylate de sodium sur le bromure d'éthylène ou l'éthylène bromé. Ce gaz s'obtient encore, à l'électrode positive, dans l'électrolyse des fumarates et des maléates alcalins (Kékulé), ainsi que des succinates (Bourgoin); il s'en produit également dans l'action de l'amalgame de sodium sur le chloroforme.

D'un autre côté, M. Winkler reconnut que les oxydes et les carbonates alcalino-terreux peuvent être réduits à l'état métallique par le magnésium au rouge. M. Maquenne, reprenant cette étude, prépara, en 1892, un carbure de baryum impur, en faisant réagir, dans une bouteille de fer chauffée au rouge, un mélange de 100 parties de carbonate de baryum, 40 de magnésium et 15 de charbon. La matière ainsi obtenue est « amorphe, de couleur gris foncé, légère, poreuse et extrêmement friable : c'est un mélange de carbure de baryum (38 0/0 environ) avec de la magnésie, un peu de charbon en excès et une trace de carbonate de baryum non décomposé ». Projetée dans l'eau, elle dégage de l'acétylène, contenant seulement, comme impuretés, 2 à 3 0/0 d'hydrogène. Soumis au même traitement, le carbonate de calcium ne subissait qu'une réduction incomplète et ne produisait pas d'acétylène.

Au commencement de l'année suivante (1893), M. Travers, en Angleterre, réduisit au four Perrot le chlorure de calcium par un mélange de sodium et de charbon, et obtint une masse grise, friable, très impure, renfermant, outre un excès de chlorure de

calcium et de carbone, une certaine quantité de cyanure de sodium et environ 15 0/0 de carbure de calcium.

Tel était l'état de la question lorsque M. Moissan entreprit ses recherches sur le four électrique. En décrivant le premier de ces appareils, M. Moissan, le 12 décembre 1892, s'exprime ainsi :

« Si la température atteint 3000°, la matière même du four, la chaux vive, fond et coule comme de l'eau. A cette température, le charbon réduit avec rapidité l'oxyde de calcium et le métal se dégage en abondance ; il s'unit avec facilité aux charbons des électrodes pour former un carbure de calcium, liquide au rouge, qu'il est facile de recueillir. »

Un peu plus tard (mars 1894), M. Moissan indiquait en détail la préparation du carbure de calcium cristallisé, et, dans l'intervalle, un de ses collaborateurs, M. L. Bullier, déposait (9 février 1894) un brevet relatif à cette préparation [1], brevet dans lequel l'emploi de l'acétylène pour l'éclairage est signalé comme une des principales applications du carbure de calcium cristallisé.

Nous ne pouvons terminer cet historique sans parler de M. Th. L. Willson, à qui l'on attribue quelquefois la découverte du carbure de calcium. La vérité, c'est que, dans un brevet, n° 492 377, déposé le 9 août 1892 et délivré le 22 février 1893, brevet ayant pour titre : *Réduction électrique des composés métalliques*

1. *Procédé de préparation des carbures des métaux alcalino-terreux.*

réfractaires, M. Willson, après avoir longuement décrit la préparation du bronze d'aluminium, termine en indiquant l'application de son procédé à la fabrication du calcium et de quelques autres métaux et se contente de signaler incidemment la production d'un carbure de calcium. Il ne donne d'ailleurs ni la composition de ce produit, ni les proportions des substances qu'il faut employer pour l'obtenir ; il ne fait connaître aucune de ses propriétés ni de ses applications, il ne dit pas s'il décompose l'eau avec un dégagement gazeux quelconque ; on ne peut donc savoir quelle est la formule de ce carbure, qui n'est peut-être qu'un mélange contenant à la fois du carbone et du calcium ; de plus, comme le caractère essentiel du procédé Willson est précisément d'ajouter un excès de charbon pour empêcher la fusion, il était impossible d'obtenir, dans ces conditions, un carbure cristallisé et par suite bien défini. C'est seulement après la publication des travaux de M. Moissan et du brevet de M. Bullier que M. Willson revendique, dans un brevet américain du 26 août 1894, la production du carbure cristallisé.

La découverte de ce nouveau corps, qui a permis d'obtenir industriellement l'acétylène, est donc incontestablement d'origine française.

D'ailleurs, pour mieux élucider la question, nous donnerons, dans le chapitre suivant, le texte complet des brevets de MM. Bullier et Willson.

CHAPITRE Ier.

BREVETS RELATIFS A LA PRÉPARATION DU CARBURE DE CALCIUM.

Brevet Bullier. — Brevet Willson américain. — Second Brevet Willson.

Mémoire descriptif déposé à l'appui de la demande d'un brevet d'invention formée par M. Louis-Michel Bullier pour procédé de fabrication des carbures des métaux terreux et alcalino-terreux et des oxydes de ces métaux.

Mon invention a pour objet un procédé de préparation des carbures des métaux alcalino-terreux qui permet de les obtenir directement et industriellement.

Ce procédé consiste à chauffer dans un four électrique, tel par exemple que celui de M. Moissan, un mélange de charbon avec l'oxyde du métal alcalino-terreux que l'on veut transformer en carbure. Le produit obtenu dans le four est fluide à la température à laquelle il se forme et il donne, par refroidissement, une masse cristalline de couleur foncée, qui est le carbure du métal employé.

Lorsqu'on emploie 56 parties de chaux vive et 36 parties de charbon de sucre, charbon de bois, noir de fumée ou toute autre variété de carbone, on obtient un carbure défini répondant à la formule $C^2 Ca$. Si l'on ajoute un excès de chaux, on peut obtenir des carbures de composition variable.

On obtient de même et avec autant de facilité les carbures de baryum et de strontium.

Il est bien entendu d'ailleurs que l'on peut remplacer l'oxyde du métal par son carbonate ou tout autre sel à base du métal alcalino-terreux.

Les carbures alcalino-terreux ainsi obtenus par mon procédé sont susceptibles de nombreuses applications; ils peuvent notamment, sous la simple action de l'eau, donner immédiatement naissance à de l'acétylène pur (dans le cas du carbure de calcium C^2Ca) ou à des mélanges de carbures d'hydrogène de composition variable.

C'est ainsi, par exemple, que 1 kilogramme de carbure de calcium de formule C^2Ca fournit environ 340 litres d'acétylène.

Les carbures obtenus par mon procédé pouvant être fabriqués industriellement pour un prix qui est fonction de la force motrice nécessaire à engendrer le courant électrique, on peut en obtenir des quantités considérables susceptibles de fournir ensuite de l'acétylène à un prix abordable ou, dans différentes conditions, des carbures acétyléniques.

Les applications de ce corps deviennent alors pratiques; quelques-unes sont tout indiquées. Je signalerai notamment la fabrication du diiodoforme, celle de l'acide cyanhydrique et, par suite, des cyanures.

Enfin, l'acétylène peut servir aussi pour l'éclairage. Il se polymérise sous l'action de la chaleur et peut ainsi fournir une série de composés intéressants, parmi lesquels je ne citerai que la benzine; mais il est bien évident que ce corps est susceptible de nombreuses applications en chimie organique.

Je n'ai d'ailleurs donné les indications qui précèdent sur l'acétylène que pour bien faire saisir l'importance industrielle et la portée pratique du procédé de préparation des carbures des métaux alcalino-terreux, qui seul fait l'objet de ma présente demande de brevet et constitue mon invention.

En résumé, je revendique par la présente demande:

1° Le procédé de fabrication des carbures des métaux alcalino-terreux consistant à chauffer au four électrique un mélange de charbon et d'oxyde du métal dont on veut obtenir le carbure, cet oxyde pouvant être remplacé par le carbonate ou autre corps équivalent.

Le tout en principe comme détail ci-dessus et dans le but spécifié.

Office des patentes des Etats-Unis: Thomas L. Willson, de Leaksville, Caroline du Nord.

Réduction par l'électricité des composés métalliques réfractaires.

Exposé des lettres patentes, n° 492377, en date du 21 février 1893.

A tous ceux qui peuvent s'intéresser à la question :

Qu'il soit connu que moi, Thomas L. Willson, citoyen des États-Unis, résidant à Leaksville, dans le pays de Rockingham et l'État de la Caroline du Nord, ai inventé certaines améliorations nouvelles et pratiques relatives à la réduction par l'électricité des composés métalliques réfractaires, qui sont spécifiées dans ce qui suit.

Cette invention est relative à la séparation de l'aluminium et d'autres métaux difficilement réductibles, de minerais ou de composés réfractaires, au moyen du four électrique. La réduction métallurgique à l'aide de la chaleur engendrée par l'électricité a été jadis obtenue par deux voies différentes, savoir: par un four à incandescence chauffé par le passage d'un courant électrique à travers une masse de charbon concassé, la chaleur étant engendrée par la résistance que présente ce conducteur au passage du courant électrique, ou bien par un four à arc, dans lequel la chaleur est engendrée par le passage d'un courant électrique sous forme d'arc entre deux électrodes séparées.

Dans le premier fourneau, ou fourneau à incandescence, le courant passe horizontalement entre deux barres ou électrodes de charbon, l'espace compris entre elles étant rempli par un mélange de charbon concassé et du minerai à réduire et avec une base métal, comme le cuivre.

De tels fourneaux ont un inconvénient en pratique. Dès que la base du métal entre en fusion, il se forme un lac ou bain

s'étendant entre les électrodes, qui sert de court-circuit autour de la masse destinée à la réduction, ce qui nécessite une continuelle mobilisation des électrodes, destinée à maintenir l'indispensable résistance dans le fourneau.

Cette difficulté est en grande partie surmontée par l'emploi d'un fourneau à arc, dans lequel le courant passe verticalement entre les deux électrodes, l'une consistant en un creuset ou âme de charbon en graphite, et l'autre en une barre ou un crayon de charbon placé au dessus, et entrant dans la cavité du creuset, ou de l'âtre. Le crayon étant amené au contact du creuset ou d'un corps intermédiaire conducteur, est éloigné du contact afin de produire un arc, et la chaleur que celui-ci développe produit la réduction de la matière placée dans le creuset.

Comme la réduction dans un four à arc a été fabriquée antérieurement à mon invention, l'alumine ou tout autre minerai réfractaire entre en fusion par la chaleur de l'arc et recouvre le fond du creuset d'un lac ou bain liquide. Dans la fabrication des bronzes ou autres alliages, le métal base forme un lac dans le fond du creuset, et l'alumine liquide ou tout autre minerai liquéfié forme une couche superposée à la première.

Le crayon de charbon est élevé au-dessus du bain d'alumine pour maintenir l'incandescence de l'arc. Si un agent réducteur se trouve dans le four, soit par l'introduction dans le four d'une atmosphère réductrice, soit par l'utilisation comme réducteur du charbon du crayon, la réduction de l'alumine ou de tout autre composé métallique est effectuée par l'action combinée de l'arc électrique et de l'agent réducteur; si une base-métal se trouve là, elle se combine avec le métal réduit en formant un alliage.

Dans le maniement d'un semblable four électrique, il y a de grandes difficultés pratiques, du fait des fluctuations subites et considérables dans la résistance du four, lesquelles tiennent à l'ébullition du bain de fusion.

L'alumine en fusion ou tout autre minerai ou composé métallique, étant un meilleur conducteur électrique que le milieu gazeux de l'arc, doit être éloigné du contact avec le

crayon de charbon pour maintenir ce dernier. Par l'ébullition de ce bain, l'alumine liquide ou tout autre minerai éclabousse, jaillit, écume et remonte ainsi fréquemment et à des intervalles irréguliers au contact du crayon de charbon, de ce fait formant un court-circuit autour de l'arc et diminuant la résistance dans le four.

En pratique, il est avéré que cette projection de l'alumine produit un court-circuit d'une résistance si faible que le travail de la dynamo génératrice du courant est sérieusement troublé.

Toutes les fois qu'un pareil court-circuit est produit, la quantité du courant électrique est accrue en proportion de l'abaissement de résistance, ce qui nécessite de la part de la dynamo un énorme accroissement de travail, dont l'effet pratique est de tendre à arrêter instantanément la rotation, exposant la dynamo et la force motrice qui la mène, aussi bien que la courroie ou tout autre intermédiaire par lequel la force est transmise, à un choc rude; ces chocs se succèdent les uns aux autres, à intervalles si rapides et irréguliers qu'ils deviennent très funestes et produisent grand dommage à toute la machinerie.

Il y a grande chance pour que l'armature de la dynamo soit brûlée du fait de l'intensité excessive du courant, même dans le cas de dynamos dont les armatures sont construites pour supporter des courants d'un voltage extraordinaire, tels que ceux que l'on emploie en électrométallurgie. La production de ce court-circuit d'arc est due en partie à la projection du cuivre ou autre métal-base à travers le bain d'alumine ou autre minerai, quand, comme dans la fabrication du bronze d'aluminium, un pareil métal-base se trouve dans le four; mais on rencontre la même difficulté, et au même ou presque au même degré, quand il n'y a aucun métal-base dans le four et quand par conséquent le seul bain liquide est celui d'alumine ou de tout autre minerai en traitement.

L'objet de mon invention est de surmonter les difficultés pratiques provenant dans le four d'un bain en fusion du minerai ou composé en traitement.

Dans le cours de nombreuses expériences que j'ai faites, et

dans l'emploi d'agents réducteurs variés, j'ai découvert que le charbon pulvérisé, quand il est mêlé avec l'alumine ou autre composé métallique à réduire, et dans une proportion convenable, a le pouvoir d'empêcher que le composé métallique fondu forme un bain.

Mon invention actuelle consiste donc en une amélioration de la fusion par l'électricité dans un arc ou un four vertical, dans lesquels on soumet l'alumine ou tout autre composé métallique réfractaire à la chaleur continue d'un arc électrique, ces composés étant mêlés à du charbon pulvérisé, en proportion suffisante pour prévenir la formation d'un bain des substances en fusion.

Les grandes fluctuations de la résistance de l'arc dues à l'ébullition de ce bain sont en conséquence évitées, et la résistance de l'arc est rendue tellement uniforme que la fusion électrique devient une opération pratique, avec les moyens dont nous disposons actuellement pour produire les courants électriques de haute intensité nécessaires.

Les fluctuations qui surviennent sont si faibles et si progressives que la machinerie n'est sujette à aucune détérioration. Le procédé de fusion est ainsi rendu plus économique, parce qu'il est conduit plus régulièrement et progressivement, il est sujet à moins d'interruptions par abaissement de vitesse de la dynamo, comme cela résulte de la production d'un court-circuit, et conséquemment la fusion est produite par le maximum du courant que la dynamo peut engendrer sous la résistance du four.

Dans l'application de ma présente invention, j'emploie de préférence un four électrique représenté sur la figure ci-contre, qui montre le four en section verticale, le circuit électrique et la dynamo étant représentés en diagrammes.

En se reportant à la figure 8 (page 49), A désigne la maçonnerie, B le charbon ou graphite du four, C le crayon de charbon constituant l'électrode mobile et D la dynamo génératrice du courant.

(Suivent de longues explications sur le moyen d'éviter le court-circuit, etc.)

La réduction s'opère alors, soit graduellement, soit violemment, par une série d'explosions, suivant la nature des matériaux introduits.

Il ne se produit pas de bain de fusion et, par conséquent, pas d'ébullition dans le creuset. La présence du carbone pulvérisé semble avoir pour effet de maintenir la division de l'alumine jusqu'à ce qu'elle soit fondue, et peut-être à une certaine absorption, l'alumine étant ainsi tenue en suspension par le charbon jusqu'à ce que la chaleur intense de l'arc ait effectué la séparation de son oxygène, qui est enlevé par le carbone, formant du monoxyde ou du bioxyde de carbone, qui s'échappe du four, laissant l'aluminium en liberté. Par l'interruption de la réaction, pendant que la réduction est à son apogée et par le refroidissement brusque du four, on ne trouve pas de culot d'aluminium solidifié, comme cela se verrait s'il y avait eu un bain liquide, mais, au contraire, les matériaux apparaissent dans le même état qu'avant leur introduction dans le four, c'est-à-dire sous la forme d'une alumine en poudre ou en grains, mélangée ou imprégnée de charbon, et ordinairement non agglomérée par la chaleur. Dans la réduction de l'alumine par ce procédé, l'aluminium libre dans le four doit être recueilli d'une façon particulière, avant d'arriver au contact de l'air qui l'oxyderait.

Les façons spéciales de recueillir l'aluminium ne constituent pas la partie essentielle de mon invention présente, mais il y a deux méthodes que je crois capables d'atteindre ce but. De celles-ci, la première consiste à introduire un métal-base dans le four pour qu'il s'allie instantanément avec l'aluminium naissant encore libre, ce qui est la méthode communément employée jusqu'ici. La seconde méthode consiste à avoir dans le creuset un excès de charbon suffisant pour se combiner avec l'aluminium naissant, formant un carbure d'aluminium, duquel le métal sera ultérieurement extrait.

La suppression du bain de fusion et de l'ébullition qui en est la conséquence ne peut être atteinte que si le charbon mélangé au minerai du composé à traiter est en quantité suffisante.

La proportion requise varie avec les conditions du minerai et du charbon, variant avec leur division et le degré d'intensité de leur mélange.

Quand l'alumine est employée sous la forme d'une fine

poussière, et que le charbon est mélangé intimement avec elle, j'ai trouvé qu'une proportion de charbon égale en poids à 15 0/0 du mélange est suffisante pour empêcher la formation du bain. Si les matériaux sont plus grossièrement divisés et moins intimement mélangés, la proportion de charbon doit être plus considérable. Je préfère employer l'alumine ou un autre minerai du composé imprégné de goudron ou d'un autre hydrocarbure lourd. Cette alumine mélangée de goudron est réclamée à mon profit dans la patente du 20 avril 1892, n° 429 923.

La méthode de mélanger le charbon avec les substances à réduire n'est pas essentielle dans mon invention présente; cela seul est essentiel que pendant que les substances en traitement sont soumises à la chaleur intime de l'arc électrique, du charbon leur est mêlé en proportion suffisante.

Ainsi le mélange des deux corps peut être introduit primitivement dans l'arc.

J'ai trouvé que, si on introduit d'abord l'alumine et si on la fait entrer en fusion dans le four, de façon à produire des fluctuations importantes dans la résistance du four, l'introduction dans le creuset de la proportion requise de charbon divisé supprime instantanément l'ébullition et rend la résistance du four constante. Dans ce cas, le charbon est mélangé avec l'alumine à cause du grand mouvement de cette dernière, dû à son ébullition, la suppression de l'ébullition survenant sans doute immédiatement après le mélange du charbon avec l'alumine.

En mettant en pratique mon procédé pour la fabrication du bronze d'aluminium, je trouve qu'il est préférable, après avoir chauffé d'abord le four, d'introduire le cuivre, qui fond instantanément et forme un lac de métal-base liquéfié dans le fond du creuset, et ensuite d'introduire l'alumine imprégnée de goudron, ou le mélange de poudre d'alumine et de charbon, en élevant le crayon de charbon suffisamment pour maintenir l'arc. Le cuivre, l'alumine et le charbon sont de préférence introduits en petites quantités ou charges, à de fréquents intervalles et de préférence en alternant. Quand la réduction se fait, le bain de cuivre qui est au fond du creuset est transformé en bronze

d'aluminium, dont la quantité augmente graduellement jusqu'à ce qu'après plusieurs heures il est extrait du creuset sans refroidir le four, et on recommence l'opération après cette interruption momentanée.

Le bain de bronze d'aluminium liquide n'est pas exposé à une ébullition importante, parce qu'il n'est pas chauffé que par dessus, de sorte que les vapeurs produites ne le traversent pas. Le courant qui le traverse ne produit pas de chaleur, puisque le métal fondu est un excellent conducteur. C'est seulement dans le cas d'une couche superposée de minerai fondu qu'une difficulté survient du fait de la formation d'un court-circuit, puisque, ce minerai étant un mauvais conducteur, il est chauffé par le passage du courant à travers lui, aussi bien que par la chaleur de l'arc qui est situé immédiatement au-dessus de lui et qui se trouve porté à l'ébullition.

Mais, grâce à mon invention, l'ébullition du minerai fondu est complètement évitée, puisque, quoique fondu, il ne forme pas de bain, mais forme avec le charbon interposé une masse tranquille, flottant à la surface du bain de bronze fondu.

Dans la mise en pratique de mon invention, le pôle positif de la dynamo peut être mis en communication avec le creuset B, et le négatif avec le charbon C; le courant passant de bas en haut; on peut aussi adopter la disposition contraire.

Je préfère le courant ascendant, parce que je trouve qu'il expose beaucoup moins à la détérioration des électrodes B C par l'oxydation. Le creuset B est si complètement protégé par la présence des matériaux qui le remplissent qu'il ne peut être que très légèrement oxydé et, en faisant du crayon C l'électrode négative, il est beaucoup moins exposé à s'abimer que s'il était positif. De plus, la présence de charbon interposé qui sert d'agent réducteur évite presque complètement l'oxydation des électrodes, puisque l'oxygène qui se sépare de l'alumine est instantanément pris par le charbon interposé qui est plus près des points d'où se dégage l'oxygène que ne le sont les surfaces des électrodes, et, en conséquence, l'oxygène passe presque entièrement à l'état d'oxyde de carbone ou d'acide carbonique avant d'arriver au contact des électrodes.

Mon invention présente n'est pas applicable aux fours à

incandescence, c'est-à-dire à ceux dans lesquels la chaleur est produite par le passage d'un courant à travers une matière de résistance inégale, telle que du charbon de cornue, et je spécifie que je refuse son application à ces fours. Mon invention est applicable seulement lorsque la chaleur est produite par l'arc électrique. Les conditions essentielles pour le maintien d'un tel arc dans un four électrique sont bien comprises dans la science. L'arc est causé par la séparation des électrodes, qui produit une interruption de circuit et, pour maintenir l'arc, l'une au moins des électrodes doit être éloignée du contact de toute substance conductrice quelconque de faible résistance et qui donnerait lieu à la production d'un court-circuit suffisant pour éteindre cet arc. Dans certains cas, l'arc est formé et maintenu fermé au-dessus de la matière en traitement, ou au moins fermé au-dessus de cette portion de la matière directement en traitement.

Le meilleur moyen pour produire un arc est celui que j'ai décrit, dans lequel le courant passe verticalement dans un four, le creuset formant une électrode, et un crayon de charbon entrant dans sa concavité constituant l'autre électrode. D'autres dispositions, cependant, sont possibles, quoique inférieures. Par exemple, deux crayons de charbon peuvent être adaptés aux extrémités respectives du circuit et pénétrer dans le creuset, ou disposés juste au-dessus d'un foyer (qui peut être non conducteur), et séparés pour former un arc entre eux, lequel arc jaillit au contact des corps en traitement, ou bien encore ils peuvent être ainsi arrangés que l'arc passe de l'un des crayons dans les substances à réduire et, de là, dans l'autre crayon, formant ainsi un double arc.

J'ai appliqué mon invention à la réduction d'autres métaux que l'aluminium. Je la crois applicable à la réduction des métaux suivants: baryum, calcium, manganèse, strontium, magnésium, titane, tungstène et zirconium.

Dans la fabrication des bronzes, je me propose de l'appliquer à la préparation de bronzes contenant du silicium et du bore.

Mon invention est applicable à d'autres réactions chimiques que celles qui sont désignées sous le nom de *réduction,* em-

ployé seulement dans son sens métallurgique; par exemple, je propose de l'appliquer au traitement des composés des minerais métalliques réfractaires, sans que ce soit nécessairement pour la production des métaux eux-mêmes, mais pour la production d'autres composés.

Par exemple, je l'ai déjà employé pour la réduction de la chaux et la production du carbure de calcium.

Je revendique comme mon invention les nouvelles choses suivantes spécifiées en substance précédemment, savoir:

1° Le procédé de décomposition des composés réfractaires consistant à soumettre les composés, une fois mélangés avec du charbon divisé et en quantité suffisante pour empêcher la formation d'un bain de composé fondu, à la chaleur continue d'un arc électrique entre des électrodes séparées dont une (au moins) est disposée immédiatement au-dessus de la matière en traitement, de sorte que l'arc se trouve juste au-dessus de cette matière; on évite ainsi pendant l'opération des fluctuations dans la résistance de l'arc, ce qui proviendrait de la présence et de l'ébullition dudit bain;

2° Le procédé de désoxydation des composés métalliques réfractaires, consistant à soumettre le composé une fois mélangé avec du charbon divisé et en quantité suffisante pour empêcher la formation d'un bain de composé fondu, à la chaleur continue d'un arc électrique entre deux électrodes isolées, disposées l'une au-dessus de l'autre, ledit arc se trouvant tout près de la matière en traitement, ce qui fait que pendant l'opération on évite les fluctuations dans la résistance de l'arc, qui seraient dues à la présence et à l'ébullition dudit bain;

3° Le procédé de réduction des composés métalliques réfractaires, consistant à soumettre le composé, une fois mélangé avec du charbon subdivisé et en quantité suffisante pour empêcher la formation d'un bain de composé fondu, à la chaleur continue d'un arc électrique produit en faisant passer un courant dans une direction à peu près verticale, entre les électrodes isolées, de sorte que l'arc est maintenu juste au-dessus de la matière en traitement. On évite ainsi pendant la réduction les fluctuations de la résistance de l'arc qui seraient dues à la présence et à l'ébullition de ce bain;

4° Le procédé de réduction de l'alumine qui consiste à la soumettre, une fois mélangée avec du charbon subdivisé et en quantité suffisante pour empêcher la formation d'un bain d'alumine fondu, à la chaleur continue d'un arc électrique entre des électrodes séparées et placées l'une au-dessus de l'autre, de manière que l'arc soit maintenu au-dessus de la matière en traitement; on évite ainsi, pendant la réduction, les fluctuations dans la résistance de l'arc qui seraient dues à la présence de ce bain;

5° Le procédé de réduction d'un composé métallique réfractaire, qui consiste à mélanger avec ce dernier une quantité suffisante de charbon finement subdivisé comme décrit, à amener le mélange dans un arc électrique entretenu avec des électrodes séparées verticalement, et à maintenir ce composé exposé à la chaleur continue de cet arc, de sorte que l'arc est maintenu immédiatement au-dessus de la matière en traitement; on évite ainsi la formation d'un bain de composé fondu.

En foi de quoi, j'ai ci-dessous signé en présence des deux témoins ci-dessous:

Signé: THOMAS L. WILLSON.

Perfectionnements dans les carbures métalliques et la fabrication de ceux-ci, par M. Thomas Leopold WILLSON.

Patente Canadienne N° 50 988, *datée du* 8 *Janvier* 1896.

J'ai découvert et fabriqué un nouveau produit commercial, lequel est un composé de calcium et de carbone, notamment le carbure de calcium, sous une forme cristalline solidifiée. Il est démontré que cette nouvelle substance peut avoir de précieuses et importantes applications industrielles.

Le procédé de fabrication du nouveau produit mentionné est le suivant:

Je prends de l'oxyde de calcium ou chaux (pouvant être anhydre ou éteinte) et je l'expose avec un agent réducteur

carbonique à la chaleur intense d'un four électrique pendant un temps suffisant. Le four est de préférence un four électrique à arc, bien qu'on puisse employer un four incandescent. Le degré intense de chaleur que l'on doit atteindre, rien qu'en convertissant l'énergie électrique en chaleur, semble être nécessaire pour assurer la réaction voulue. Les agents réducteurs dont j'ai fait usage sont le charbon et les hydrocarbures lourds, liquides ou solides; mais d'autres agents de réduction peuvent convenir.

Dans la réalisation du procédé pour fabriquer ce composé, je procède de préférence comme suit :

Je prends de la chaux vive que je réduis en poudre, soit en l'éteignant, ou de préférence en l'écrasant, puis je mélange le charbon pulvérisé avec la chaux pulvérisée, dans la proportion d'une partie de charbon pour deux parties du poids de la chaux. Le charbon peut être du poussier de coke ou du poussier de charbon, ou même du charbon de bois pulvérisé; en éteignant ou en hydratant la chaux, celle-ci peut être combinée d'une manière plus intime avec une matière carbonique en la plongeant et en l'agitant dans un hydrocarbure liquide, de préférence du goudron ou coaltar maintenu liquide par la chaleur. Lorsque la chaux s'est imprégnée de la quantité voulue d'hydrocarbure, le mélange est séché par la chaleur. Le mélange, préparé à l'aide de l'une quelconque de ces manières, est ensuite amené dans un four électrique, de préférence à arc Siemens, comportant un creuset ou foyer en graphite ou en charbon relié à une des bornes d'une dynamo convenable, et un crayon de charbon relié à la borne opposée de celle-ci. Pour commencer l'opération, le crayon doit être en contact avec le creuset ou foyer, de manière à permettre le passage d'un courant électrique. Après avoir établi le courant, on élève le crayon de charbon légèrement au-dessus du foyer pour former un arc et, pendant l'opération, on maintient l'arc en tenant le crayon suffisamment élevé pour garantir un espace de vapeur entre ce crayon et la matière conductrice à l'intérieur du four. La chaleur intense de l'arc est destinée à fondre la chaux et à la décomposer en ses éléments, dont l'oxygène, se combinant avec le carbone, forme du monooxyde

ou bioxyde de carbone, qui s'échappe du four à l'état gazeux (dans le cas où l'on emploierait un hydrocarbure, une partie de l'oxygène se combinerait avec l'hydrogène), tandis que le calcium, ou tout au moins la plus grande partie de ce dernier, se combine avec le carbone qui reste, pour former un carbure de calcium. Dans les fours de petites dimensions produisant 1 tonne ou moins par jour, on retire le carbure liquide périodiquement. Dans les fours de grandes dimensions, on peut laisser sortir le carbure constamment par une ouverture.

A mesure que le carbure se refroidit, il se solidifie, en formant un corps adhérent cristallisé; les cristaux fraîchement cassés présentent fréquemment et d'une manière sensible les couleurs du prisme et un reflet métallique. La couleur du carbure varie entre le gris fer et le noir bleu. Le carbure a une grande affinité pour l'eau et, si on le laisse exposé à l'air, il se pulvérise graduellement; sa surface prend alors une teinte gris blanchâtre, en raison de la formation de la chaux par hydratation. Pour cette raison, il est nécessaire de préserver le carbure en le couvrant d'une manière convenable, soit en le plaçant dans des récipients cachetés, inaccessibles à l'humidité, en le plaçant sous une couche d'huile, en l'enduisant de cire ou en le protégeant d'une manière quelconque contre l'humidité.

Cette substance a une telle affinité pour l'eau que, si on la laisse tomber dans l'eau froide, elle la décompose en produisant un grand volume de gaz. Le résidu de cette réaction est le lait de chaux, qui est souvent légèrement décoloré par le carbone libre. Le gaz formé est l'acétylène C^2H^2. En enflammant ce gaz lorsqu'il se dégage, et à l'air libre, il brûle avec une flamme jaunâtre, donnant tant soit peu de fumée, et accompagnée d'un certain dépôt de noir de fumée. Toutefois, en accumulant ce gaz et en le brûlant dans un bec approprié, il produit une flamme brillante, d'un pouvoir éclairant remarquable, car la combustion est complète.

Le nouveau produit que j'ai découvert aura, je l'espère, des applications pratiques importantes dans l'industrie. Sa propriété de décomposer l'eau à froid montre qu'il a une affinité puissante pour cette dernière. Ses propriétés promettent son utilisation probable comme agent dans les réductions métallur-

giques et dans beaucoup d'autres réactions chimiques. Le grand volume de gaz développé par sa combinaison avec l'eau démontre son utilité comme agent explosif dans certaines conditions. On a également démontré qu'il produisait un gaz combustible ou d'éclairage, d'une grande richesse et d'une grande valeur, dont on peut régler la production avec un appareil convenablement disposé, suivant la demande de gaz. Le gaz que l'on en retire peut également servir à enrichir d'autres gaz combustibles pour les rendre plus aptes à l'éclairage.

La grande affinité de cette nouvelle substance pour l'humidité permet de l'utiliser comme matière déshydratante. Elle se révèle également comme une source précieuse, à l'aide de laquelle on peut fabriquer une grande quantité de produits chimiques à un prix de revient moindre qu'avec les procédés en usage jusqu'à ce jour. On lui trouvera même beaucoup d'autres applications lorsqu'on pourra fabriquer le nouveau produit sur une grande échelle.

On suppose que la formule du carbure de calcium est $Ca\,C^2$. Bien que cette substance ou autre analogue ait été considérée pendant de longues années comme une curiosité de laboratoire, il n'a pas été possible de la fabriquer jusqu'à ce jour autrement qu'en quantité très minime et par un procédé chimique, difficile et coûteux, ce qui fait que les propriétés précieuses et les applications de ce produit sont demeurées inconnues avant mon invention ou découverte qui, pour la première fois, place ce composé remarquable à la portée de tous. Le carbure de calcium produit jusqu'à ce jour par réduction chimique se trouvait sous la forme d'une poudre amorphe ou d'une matière non agglomérée. Le nouveau genre de carbure de calcium obtenu conformément à mon invention se distingue de celui connu précédemment par ce fait qu'il est cristallin au lieu d'être amorphe, et qu'au lieu d'être en poudre il se présente en masses pierreuses agglomérées résultant de la solidification après fusion. Il se distingue, en outre, par sa grande pureté, et par le volume accru de gaz acétylène qu'il produit, notamment 0^{m3}, 155^{d} 730 par livre environ, tandis que le carbure amorphe produit moins de la moitié de cette quantité de gaz.

Mon invention peut être tant soit peu modifiée en substituant à l'oxyde de calcium d'autres composés métalliques. On peut employer, par exemple, d'autres composés de calcium, tel que le carbonate ou phosphate ou, si possible, le chlorure. On peut encore utiliser des composés d'autres métaux que le calcium, pourvu que le carbone qu'ils fournissent ait la propriété décrite de former une réaction avec l'eau pour développer l'acétylène. Je me propose d'utiliser la dolomie, le double carbonate de calcium et de magnésium ou la chaux calcinée et la magnésie que l'on en retire; dans ce cas, le carbure résultant est en partie du carbure de calcium et du carbure de magnésium.

En résumé, je revendique comme ma propriété entière et exclusive:

1° Le nouveau produit commercial décrit précédemment, consistant en un carbure de calcium cristallin ou autre matière analogue, ledit carbure étant capable de se décomposer mutuellement avec l'eau pour former un gaz d'hydrocarbure;

2° Le nouveau produit commercial décrit précédemment, consistant en un carbure de calcium cristallin;

3° Le nouveau produit commercial décrit précédemment, consistant en un carbure de calcium existant à l'état de masse agglomérée résultant de sa solidification après la fusion;

4° Comme produit de fabrication nouvelle, un carbure métallique cristallin pouvant former une réaction avec l'eau, renfermé dans un récipient ou enveloppe, destiné à le protéger contre l'humidité, et dans lequel il n'est plus exposé à l'action de l'humidité de l'atmosphère jusqu'au moment de son emploi;

5° Le procédé décrit de fabrication d'un carbure métallique cristallin réagissant avec l'eau et qui consiste à soumettre l'oxyde de calcium (ou autre métal analogue) à la fusion électrique avec une matière carbonique;

6° Le procédé décrit de fabrication du carbure de calcium cristallin, consistant à soumettre de la chaux et une matière carbonique à la chaleur intense dans un four électrique.

CHAPITRE II.

PRÉPARATION DES CARBURES ALCALINO-TERREUX.

Préparation du carbure de calcium. — Influence d'un excès de chaux. — Préparation du carbure de baryum. — Préparation du carbure de strontium.

Préparation du carbure de calcium. — Dans un important mémoire, publié récemment aux *Annales de Chimie* (nov. 1896), M. Moissan a résumé ses recherches sur les carbures alcalino-terreux. Nous emprunterons d'abord à ce mémoire la préparation de ces composés.

Pour préparer le carbure de calcium, on mélange intimement 120 grammes de chaux de marbre bien pure et 70 grammes de charbon de sucre ; on introduit une partie de ce mélange dans le creuset du four électrique et l'on fait passer, pendant un quart d'heure, un courant de 350 ampères et 70 volts. Il se dégage de l'oxyde de carbone, qui brûle avec une flamme bleue, et il se forme un composé de couleur foncée, à cassure cristalline ; c'est le *carbure* ou *acétylure de calcium*[1].

1. Certains ouvrages donnent à ce corps le nom de *carbide* (traduction anglaise de carbure) ou même de *carbite*.

$$CaO + 3C = C^2Ca + CO$$

On laisse à dessein un léger excès de chaux, le creuset fournissant la quantité de charbon nécessaire à un carbure défini. Le rendement est d'environ 120 à 150 grammes.

La chaux peut être remplacée par son carbonate, mais la substitution n'est pas avantageuse, car elle augmente le volume des substances employées. La réaction est alors représentée par la formule

$$CO^3Ca + 4C = C^2Ca + 3CO$$

Le produit obtenu présente, dans les deux cas, le même aspect, celui d'une masse noire, homogène, ayant subi la fusion et pris exactement la forme du creuset. Le mélange de chaux et de charbon doit être bien intime. « Il faut éviter aussi d'employer un excès de charbon en poudre, sans quoi la chaux liquide ne peut plus réagir convenablement sur le carbone, et il ne se produit que très peu de carbure. Si l'on n'obtient pas un bain liquide, le rendement est à peu près nul et la poudre que l'on recueille ne donne, avec l'eau, qu'un très faible dégagement gazeux. » Avec des courants plus intenses, 1 000 ampères et 60 volts, on peut opérer sur 1 kilogramme du mélange de chaux et de charbon.

Influence d'un excès de chaux. — Lorsqu'on met un excès de chaux, on obtient surtout du calcium métallique

$$CaO + C = Ca + CO$$

Des vapeurs abondantes se dégagent; des flammes blanches, très éclatantes, s'échappent le long des électrodes. Si l'on ajuste, au milieu d'une des faces latérales du four, un tube de fer refroidi extérieurement par un courant d'eau froide traversant un serpentin de plomb, les vapeurs abandonnent dans ce tube un dépôt gris, dégageant, au contact de l'eau, beaucoup d'hydrogène et des traces seulement d'acétylène. L'eau devient laiteuse et contient de l'hydrate de chaux. Il a été impossible de réunir en un lingot le métal très divisé ainsi obtenu.

Préparation du carbure de baryum. — Les deux métaux voisins du calcium, le baryum et le strontium, donnent aussi des carbures ou acétylures cristallisés, doués de propriétés analogues à celles du carbure de calcium.

Pour préparer le carbure de baryum, on remplit le creuset de charbon du four électrique avec un mélange intime de 50 grammes de baryte anhydre et de 30 grammes de charbon de sucre. On soumet pendant 15 à 20 minutes à un courant de 70 volts et 350 ampères. On a « une masse noire, fondue, ayant pris la forme du creuset, et qui se brise avec facilité en présentant, suivant la cassure, de grands cristaux lamellaires ».

Afin d'éviter de préparer la baryte pure, on peut se servir du carbonate. On emploie 150 grammes de ce sel pour 25 grammes de charbon de sucre. Le rendement est un peu plus faible.

Préparation du carbure de strontium. — On emploie 120 grammes de strontiane et 30 grammes de charbon de sucre ou 150 grammes de carbonate et 50 grammes de charbon ; on chauffe au four électrique en opérant comme pour les précédents.

Le produit obtenu « se présente aussi sous la forme d'une masse noire à cassure cristalline, dont les cristaux ont un aspect mordoré ».

CHAPITRE III.

FABRICATION INDUSTRIELLE DU CARBURE DE CALCIUM.

Préparation industrielle. — Précautions indiquées par M. Bullier. — Indications de MM. Morehead et de Chalmot. — Expériences de Spray : analyse des matières employées ; premier essai ; deuxième essai ; marche des opérations ; analyse des matières obtenues ; conclusions.

Préparation industrielle. — Dans une fabrication importante, on ne peut songer à employer du charbon de sucre et de la chaux de marbre, comme dans une préparation de laboratoire ; aussi les proportions doivent-elles être modifiées. On prend généralement 56 parties de chaux pour 36 de charbon, qui est généralement du coke ; le tout est finement broyé. On recherche de préférence les cokes renfermant peu de cendres, par exemple ceux qui proviennent de charbons anglais.

Précautions indiquées par M. Bullier. — Dans une communication au deuxième Congrès de chimie appliquée, M. Bullier a résumé les conditions de cette fabrication. Il conseille d'employer un mélange de 66 parties de chaux vive réelle et de 56 parties de carbone réel ; un léger excès de chaux, servant de

fondant, facilite la réaction. On peut se servir d'un four électrique quelconque, pourvu qu'on puisse atteindre la température nécessaire. Ce four peut se composer simplement d'un prisme droit à base rectangle, dont trois faces sont constituées par des murs en briques ; la quatrième est formée d'un mur en briques sèches, maintenues par des plaques de fer, qu'on élève au fur et à mesure de la formation du bloc de carbure. Les fumées produites pendant la réaction doivent être éliminées par un dispositif spécial. La sole qui forme l'électrode négative peut être constituée par une couche de charbon reposant sur des barres de fer ; l'électrode positive se compose d'un certain nombre de crayons de charbon, longs d'environ 1 mètre, fixés à l'extrémité d'une tige métallique isolée, reliée par des câbles au pôle positif des dynamos.

On met les deux électrodes en contact, on introduit le mélange de chaux et de charbon sur une hauteur de 30 à 40 centimètres, et l'on fait passer le courant ; on règle l'arc à la longueur voulue, et l'on maintient constante l'indication du voltmètre.

Le four est alimenté suivant les besoins. Il se forme, au centre de la matière, grâce au vide laissé par l'électrode supérieure dans son ascension, une sorte de chambre de réaction, limitée par les substances non entrées en réaction ; cette matière étant très peu conductrice, on peut concentrer l'action calorifique de l'arc et effectuer les réactions dans un espace très

restreint, ce qui supprime les déperditions de chaleur. On peut d'ailleurs accroître l'épaisseur de cette sorte de garnissage intérieur en augmentant la section transversale du four. On opère ainsi dans les conditions qui se trouvent réalisées dans le four de M. Moissan. On arrête le courant quand le four est monté assez haut ; on laisse refroidir le bloc de carbure pendant 6 à 8 heures, on le sépare du mélange non utilisé, puis des scories qui l'entourent ; on le casse en morceaux et on l'emballe.

Indications de MM. Morehead et de Chalmot. — D'après MM. Morehead et de Chalmot, la partie supérieure d'un bloc de carbure est souvent plus pure que la base[1] et plus riche en cristaux bien développés. Ces cristaux seraient plus parfaits quand il y a excès de coke et qu'on laisse refroidir lentement.

Le coke et la chaux doivent être finement pulvérisés et très bien mélangés ; sinon, on n'obtient qu'un produit de qualité inférieure.

Le coke doit renfermer le moins possible de cendres ; il est de bonne qualité à 7 0/0 et mauvais à 11 0/0. La chaux grasse est la meilleure ; elle doit être autant que possible exempte de magnésie, car cette base, n'étant pas attaquée, dilue le mélange de charbon et de chaux et nuit à la réaction ; pour cette raison, la proportion de magnésie ne doit pas dépasser

1. Il n'en a pas été ainsi dans les expériences de Spray, que nous décrivons plus loin.

3 0/0. La chaux éteinte donne sans doute une assez grande quantité de gaz à l'eau.

Les cendres du coke et les impuretés de la chaux se retrouvent dans le carbure et aussi dans le mélange non utilisé. Lorsqu'on veut employer de nouveau ce dernier, il est donc utile de lui ajouter du charbon de bois, pour ne pas avoir une trop forte proportion de cendres. Ce mélange peut aussi, lorsqu'on le retire du four à une température élevée, perdre, par combustion à l'air, une quantité assez considérable de carbone ; on évite cet inconvénient en le conservant dans des vases en fer clos ou en le réemployant immédiatement. Les mélanges contenant de la chaux non éteinte se refroidissent beaucoup plus vite et perdent beaucoup moins de carbone après la sortie du four.

Il faut veiller avec soin au maniement des électrodes mobiles, pour éviter une usure trop rapide. L'attaque pendant la réaction n'est pas très sensible si le mélange est suffisamment riche en coke ; l'usure est alors d'environ 1 millimètre par heure. Pendant le fonctionnement, les extrémités des électrodes sont protégées par l'oxyde de carbone qui se dégage ; mais, si, après l'interruption du courant, elles se trouvent exposées à l'air étant encore chaudes, leur surface brûle et elles s'amincissent. Pour éviter cette usure, on entoure parfois les électrodes d'une lame de tôle fixée au porte-charbons par des fils de fer et l'on remplit l'espace laissé libre, à l'intérieur de cette enveloppe, par un mélange de coke et de goudron ou de poix ;

en général, l'enveloppe dure aussi longtemps que les charbons, c'est-à-dire, dans un four ouvert, environ 400 heures avec un courant de 1 500 à 2 000 ampères.

Expériences de Spray. — Un rapport de MM. Houston, Kennelly et Kinnicutt, publié par le journal *Progressive Age,* fait connaître le rendement de la fabrication du carbure de calcium et son prix de revient à l'usine de Spray (North Carolina), exploitée par la *Willson Aluminium Company;* c'est le document le plus complet que nous possédions sur les résultats donnés par une usine en plein fonctionnement.

Deux essais successifs ont été réalisés ; dans chacun, les matières ont été pesées et analysées avec soin.

Analyse des matières employées. — Les analyses des matières premières ont donné les résultats suivants :

CHAUX	A	B
Chaux	88,86	89,00
Magnésie	4,27	4,38
Alumine et oxyde de fer	1,58	1,64
Acide phosphorique	0,014	0,015
Silice	0,28	0,34
Acide carbonique et eau	4,55	4,02
Acide sulfurique, alcalis, pertes	0,446	0,605
	100,000	100,000

COKE	A	B
Humidité	0,40	0,50
Cendres	8,60	8,50
Soufre	0,48	»
Phosphore	0,0055	»
	9,4855	9,00

Les proportions de matières employées ont été les suivantes :

	A	B
Poids de matières introduit dans le malaxeur. .	907 kg	925 kg 14
— extrait du malaxeur. . . .	863	892 30
Perte dans le malaxeur et dans le transport. .	44 kg	32 kg 84

A la sortie du malaxeur, le mélange se composait de :

	A	B
Chaux..	451 kg 9	466 kg 09
Charbon.	321 1	307 21
Divers	90	119
	863 kg 0	892 kg 30

Premier essai. — La première opération a duré trois heures. Le courant primaire était de 1 000 volts et 156 ampères ; le courant secondaire, qui alimentait les fours, avait à peu près une tension de 100 volts et une intensité de 1 560 ampères. Pendant la durée totale de l'expérience, l'énergie fournie par le courant primaire s'est élevée à 454,8 kilowattheures ou environ 618 chevaux[1], ce qui représente une puissance moyenne par heure de 151,6 kilowatts ou 206 chevaux. En admettant que la perte dans les transformateurs soit de 5 0/0, l'énergie dépensée dans le four est de 432 kilowattheures ou de 587 chevaux-heure, ce qui correspond à une puissance moyenne de 144 kilowatts ou 196 chevaux.

Deuxième essai. — Dans le second essai, qui a

1. Un cheval-vapeur vaut environ 736 watts.

duré 2 heures 40 minutes, on a fourni au circuit primaire des transformateurs 408,9 kilowattheures ou 555,5 chevaux-heure, correspondant à une puissance moyenne de 153,7 kilowatts ou de 208,8 chevaux. En admettant encore une perte de 5 0/0 dans les transformateurs, l'énergie dépensée dans le four est de 388,45 kilowattheures ou de 527,73 chevaux-heure, correspondant à une puissance moyenne de 146,0 kilowatts ou de 198,4 chevaux.

Marche des opérations. — Pendant les opérations, l'arc électrique avait une longueur de 7 à 8 centimètres. Le mélange placé au-dessous de l'électrode supérieure se transformait en carbure de calcium, qui forme un bain liquide ; à mesure que l'opération s'avance, on relève cette électrode, qui est entourée de flammes dues à la combustion de l'oxyde de carbone et colorées par des vapeurs de calcium. On règle le déplacement de l'électrode d'après les indications du voltmètre et de l'ampèremètre.

Lorsque l'aiguille du voltmètre descend, on remonte l'électrode mobile. Une interruption de l'arc est indiquée par le retour au zéro de l'aiguille de l'ampèremètre ; en même temps, celle du voltmètre s'élève.

On arrête l'opération quand l'électrode a été soulevée d'environ 75 centimètres ; on interrompt le courant, qu'on lance dans un autre four, et on laisse refroidir le premier. Le bloc de carbure présente à peu près la forme d'un prisme triangulaire ; il est recouvert d'une sorte de croûte, qui ne renferme qu'une faible quantité

de carbure, mélangée avec une forte proportion de charbon, de chaux et de carbonate de calcium. Enfin les différentes parties du bloc de carbure n'ont pas la même pureté, comme le montrent les volumes de gaz humides, mesurés à 25° et sous la pression de 75,90 centimètres, dégagés par divers échantillons, du poids commun de 1 kilogramme (1re expérience).

Base du bloc	2891. 74
Milieu du bloc	296 36
Sommet du bloc	284 80
Moyenne	2901. 30

Le bloc de la seconde expérience a donné une moyenne de 313 litres 12.

Analyse des matières obtenues. — Les matières recueillies dans les deux essais se composaient de :

	A	B
Carbure de calcium brut	102 kg 71	92 kg 06
— net	98 18	87 53
Scories	4 53	4 53
Chaux	329 3	357 76
Charbon	208 3	222 57
Divers	65 8	104 80

On a donc dépensé pour la production du carbure ;

	A	B
Chaux	85 kg 8	76 kg 4
Charbon	54 7	49 2

et perdu dans le four :

	A	B
Chaux	36 kg 0	32 kg 1
Charbon	58 1	36 5

En comparant les quantités de carbure obtenues avec l'énergie dépensée, on trouve :

	A	B
Poids de carbure brut par kilowattheure.	0 kg 237	0 kg 237
— net — .	0 227	0 225
— brut par cheval-heure.	0 174	0 174
— net — .	0 167	0 164
— brut par cheval-jour. .	4 176	4 176
— net — . .	4 008	3 936

Le rendement est donc d'environ 4 kilogrammes de carbure par cheval-jour, nombre sensiblement égal à ceux qu'on a trouvés en Europe et bien inférieur à ceux qui ont été donnés par M. Willson et par la plupart des journaux américains.

On peut donc résumer comme il suit ces deux expériences :

	A	B
Poids de matières primitif.	907 kg	925 kg 14
— introduit dans le four.	863	892 30

Matières retirées du four:

Carbure brut.	Carbure net.	98,18	87,53
	Croûte.	4,53	4,53
Matières non utilisées		603,46	685,13
Poids total des matières retirées du four. .		706,17	777,19
Energie dépensée dans le four	en chevaux-heure. . .	587	527,73
	en chevaux-jour . . .	24,4	21,99

En rapportant à 100 parties, on a :

	A	B
Poids de matières primitif.	100,00	100,00
Perte dans le malaxeur et dans le transport.	4,85	3,55
Poids des matières introduites dans le four.	95,15	96,45

Matières retirées du four :

Carbure brut.	Carbure net.	10,82	9,45
	Scories.	0,49	0,48
Matières non utilisées.		66,52	74,05
Perte au four.		22,14	15,99

Conclusions. — On voit que, dans chaque opération, une faible partie seulement des substances introduites dans le four a été transformée en carbure ; nous avons vu, il est vrai, qu'il y a avantage à entourer les matières soumises à la chaleur de l'arc, dans la partie du four qui constitue pour ainsi dire le creuset, par une sorte de garnissage mauvais conducteur, formé par le mélange pulvérulent de chaux et de charbon ; d'ailleurs, ce mélange non utilisé, qui s'est élevé, dans les essais précédents, à 66,52 et 74,05 0/0 du poids primitif, peut être repris pour une nouvelle opération ; cependant, il peut avoir disparu, par combustion, une petite quantité de charbon, qu'il faudra remplacer.

On voit aussi que la différence entre le poids des matières introduites et celui des matières retirées, c'est-à-dire la perte au four, s'est élevée à 22,14 et 15,99 0/0 du poids primitif. Elle est supérieure à la proportion de carbure brut formé, qui est seulement de 11,31 et 9,93 0/0.

CHAPITRE IV.

FOURS ÉLECTRIQUES.

Principe des fours électriques. — Fours Moissan : électrodes ; creusets ; conduite des expériences ; fours en carbonate de chaux ; four à tube ; four continu et four à plusieurs arcs. — Fours Bullier. — Four Héroult. — Four Willson. — Four de Spray. — Four du Niagara. — Four Vincent. — Four Borchers. — Four Pictet. — Four Patin. — Four Patter.

Principe des fours électriques. — Les carbures alcalino-terreux, et en particulier le carbure de calcium, se fabriquent dans les fours électriques, qui utilisent la chaleur produite dans l'arc voltaïque. Ces fours peuvent présenter deux dispositions différentes : les substances à traiter sont, dans certains d'entre eux, intercalées entre les deux charbons et, formant une portion résistante du circuit, se trouvent portées à une haute température ; dans les autres, l'arc voltaïque jaillit entre les deux charbons, et les matières se placent à l'une des électrodes ou dans le voisinage de l'arc.

Les deux systèmes peuvent être appliqués à la fabrication du carbure de calcium ; on préfère généralement le second, qui assure une température plus élevée, et permet seul, jusqu'ici, d'obtenir le carbure cristallisé et bien défini. En outre, ainsi que l'a fait

remarquer M. Moissan, on est certain d'éliminer ainsi les actions électrolytiques.

On peut employer le courant alternatif ou le courant continu : on se sert plutôt du premier, qui se prête mieux aux réductions de voltage. Les meilleurs résultats s'obtiennent avec des puissances de deux à trois cents chevaux : au delà de cette limite, les électrodes et le four lui-même s'usent rapidement.

Nous décrirons seulement les fours employés pour la fabrication du carbure de calcium.

Fours Moissan. — Le four de M. Moissan se compose de deux briques de chaux bien dressées et appliquées l'une sur l'autre. Au centre de la brique inférieure est ménagée une petite cavité servant de creuset, tandis qu'une rainure longitudinale reçoit les électrodes (fig. 1). Dans certains cas, on place les matières dans un petit creuset de charbon. La brique supérieure est légèrement creusée dans la partie qui se trouve au-dessus de l'arc; grâce à la puissance calorifique du courant, la surface de la chaux ne tarde pas à fondre en ce point; elle acquiert ainsi un beau poli et forme un dôme qui renvoie la chaleur sur le creuset. On voit que ce four utilise seulement l'action thermique du courant.

Électrodes. — Les électrodes sont mobiles et se déplacent facilement au moyen de deux supports, ou mieux de deux glissières, qui se meuvent sur un madrier; cette disposition simplifie beaucoup la conduite des expériences, car elle donne toute facilité pour établir l'arc, l'allonger ou le raccourcir.

Ces électrodes doivent être, autant que possible, exemptes de matières minérales ; on se sert de charbon de cornue, choisi dans le dôme de la cornue ; on le réduit en poudre, on le lave aux acides, puis à l'eau, on le calcine et on l'agglomère au moyen de goudron ; on soumet alors les charbons à une pression très forte et très régulière, on les sèche avec précaution et on les calcine à une température élevée,

Les extrémités des électrodes doivent être taillées en cônes bien pointus, pour faciliter le rallumage lorsque l'arc s'éteint au début de l'expérience. Cette

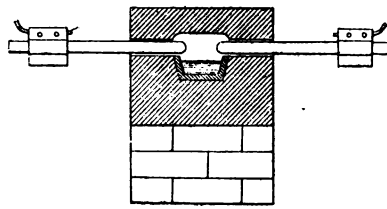


Fig. 1. — Four Moissan.

difficulté disparaît lorsque le four est chaud et rempli de matières conductrices.

Les câbles qui amènent le courant sont réunis aux charbons par des mâchoires en cuivre, serrées par des écrous.

Creusets. — Les creusets en charbon de cornue ont l'inconvénient de se gonfler beaucoup en se transformant en graphite sous l'influence de la chaleur de l'arc ; on évite ce défaut en employant des creusets en agglo-

méré faits au moule, par compression et d'une seule pièce. Il est bon de maintenir un espace annulaire vide autour du creuset, pour que les rayons calorifiques réfléchis par le dôme puissent l'envelopper complètement.

Conduite des expériences. — M. Moissan cite comme exemple l'expérience qui démontre la volatilisation de la chaux vive.

« Nous n'avons pas besoin ici de creuset, puisque nous opérons sur la matière même du four. On commence par découper dans la brique inférieure une petite cavité de 2 à 3 centimètres de profondeur. Les électrodes sont ensuite placées dans les rainures et fixées par une pince aux montants que supportent les glissières, enfin rapprochées à 2 ou 3 centimètres l'une de l'autre, de façon que la première se trouve exactement au-dessus du centre de la cavité. On fait passer le courant de la dynamo dans le circuit et, en approchant lentement la seconde électrode de la première, on établit le contact et l'arc jaillit.

« On perçoit aussitôt une odeur très pénétrante d'acide cyanhydrique. La petite quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans les électrodes fournit avec le carbone de l'acétylène. Ce gaz, en présence de l'azote que renferme le four au début de l'expérience, réalise, sous l'action puissante de l'arc, la belle synthèse de l'acide cyanhydrique découverte par M. Berthelot.

« La lumière émise par le four électrique, colorée

par la flamme du cyanogène, a pris tout d'abord une belle teinte pourpre, qui disparaît bientôt. Il faut avoir soin, dès le début, de ne pas trop écarter les électrodes ; lorsque le four est encore froid, l'arc s'éteint avec facilité. Quelques instants plus tard, il n'en est plus de même ; on peut alors donner à l'arc une longueur un peu plus grande. Au début, l'arc, même avec des courants intenses, n'atteint pas 1 centimètre, tandis qu'à la fin de l'expérience il possède, en général, une longueur de 2 à 2,5 centimètres. Si le four est rempli d'une vapeur métallique bonne conductrice (aluminium par exemple), on doit éloigner les électrodes de 5 à 6 centimètres. La grandeur de l'arc sera donc réglée, d'après la marche du voltmètre, de façon à avoir toujours une résistance à peu près constante et à maintenir la dynamo dans son régime normal.

« Après 3 à 4 minutes, avec un courant de 360 ampères et 70 volts, les électrodes ne tardent pas à rougir, des flammes éclatantes de 40 à 50 centimètres de longueur jaillissent avec force par les ouvertures qui donnent passage aux électrodes, de chaque côté du four. Ces flammes sont surmontées de torrents de fumées blanches, qui sont produites par la volatilisation de la chaux et qu'il est facile de condenser en partie sur un corps froid.

« Ces vapeurs se répandent dans l'atmosphère et restent plusieurs heures en suspension.

« Avec un courant de 400 ampères et 80 volts,

l'expérience se réalise en 5 à 6 minutes ; sous l'action d'un courant de 800 ampères et 110 volts, on peut volatiliser en 5 minutes plus de 100 grammes d'oxyde de calcium.

« Au début de la chauffe, l'arc possède une certaine mobilité et le four ronfle beaucoup, mais, en peu d'instants, les vapeurs métalliques augmentant la conductibilité, l'écoulement de l'électricité se fait avec régularité et sans bruit. La chaleur et la lumière deviennent alors très intenses à l'intérieur du four. Lorsque l'expérience est terminée, on enlève la brique de chaux supérieure et l'on remarque aussitôt que la partie soumise à l'action calorifique de l'arc est absolument fondue. Avec une machine de 50 à 100 chevaux, il se forme souvent sur le couvercle de véritables stalactites de chaux fondue, qui ont coulé lentement du dôme, puis se sont solidifiés à la fin de l'expérience; ils ont ensuite l'apparence de la cire. »

« La conductibilité de la chaux vive est tellement faible que l'on peut conserver sur la main cette brique de chaux retournée, dont la partie externe a été portée à une si haute température qu'elle est fondue et qu'elle contiuue à émettre par rayonnement une énorme quantité de chaleur et de lumière. » Cette mauvaise conductibilité de la chaux est très favorable et empêche la déperdition de la chaleur.

« Après l'expérience, le charbon positif ne présente que peu d'usure, tandis que le négatif est rongé plus ou moins profondément. Les extrémités des électrodes,

sur une longueur de 8 à 10 centimètres, sont entièrement transformées en graphite. »

Avec des courants à haute tension, il faut isoler avec soin les conducteurs. M. Moissan s'est toujours servi de courants continus. Il faut aussi protéger soigneusement les yeux contre la lumière de l'arc par des lunettes à verres très foncés.

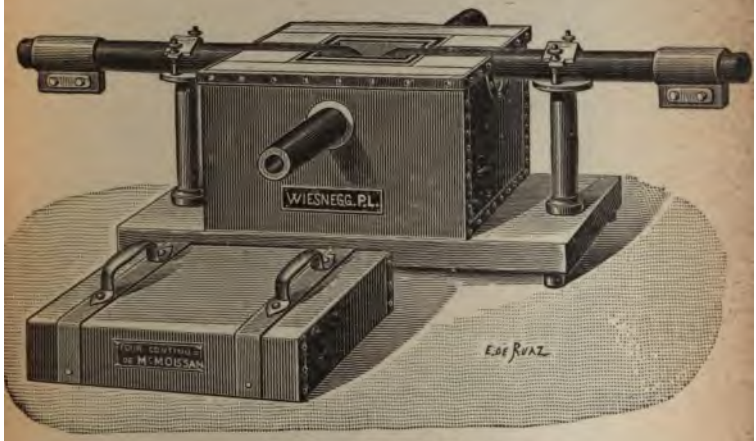


Fig. 2. — Four à tube.

Fours en carbonate de chaux. — A cause de la difficulté de trouver, surtout en hiver, de beaux blocs de chaux vive, M. Moissan emploie aussi des fours en pierre de Courson ou en tout autre carbonate naturel contenant peu de silicium.

Ces fours sont plus solides et peuvent être rendus plus volumineux. Ils doivent être d'abord dessé-

chés avec soin; ils peuvent dégager une grande quantité d'acide carbonique et même d'oxyde de carbone; il faut donc opérer dans un local bien ventilé.

Four à tube. — La figure 2 montre un four en calcaire, dont les parois sont garnies de plaques alternées de magnésie et de charbon, pour empêcher la fusion de la chaux par les courants de grande puissance (1 200 à 1 400 ampères et 100 volts).

En outre, il est traversé par un tube de charbon, disposé à un centimètre au-dessous de l'arc et à un centimètre au-dessus du fond de la cavité. Ce dispositif permet de chauffer des substances en les soustrayant à l'action de l'air ou en les soumettant à celle d'un courant de gaz ou de vapeur.

Four continu et four à plusieurs arcs. — En inclinant de 30° le tube de l'appareil précédent, on le transforme en un four continu. M. Moissan s'est servi aussi de fours à plusieurs arcs.

Fours Bullier. — Les fours de M. Moissan, très intéressants au point de vue historique, sont des appareils de laboratoire. M. Bullier a construit des fours industriels reposant sur les mêmes principes, et qui sont utilisés dans les usines de la Société des carbures métalliques, à Bellegarde et à N.-D. de Briançon.

Ces fours, à base carrée (fig. 3), ont des parois *a* constituées par une matière appropriée à l'opération qu'on veut effectuer, c'est-à-dire en carbonate de chaux pour la préparation du carbure de calcium. La sole *b* est formée d'une plaque de tôle, mobile autour

de la charnière *c*, et maintenue, pendant la réaction,

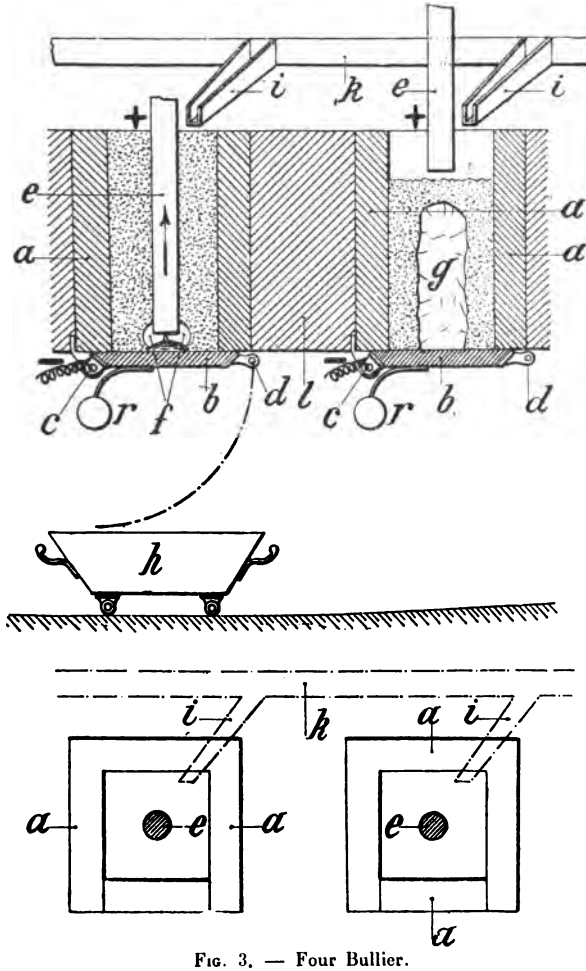


Fig. 3. — Four Bullier.

par un verrou *d* et un contrepoids *r*; cette plaque

représente le pôle négatif. L'électrode positive est un charbon vertical *e*, qu'on enfonce d'abord jusqu'au bas de l'appareil; on remplit alors la cavité du mélange pulvérulent de chaux et de charbon. L'arc jaillit et fond le mélange qui entoure l'électrode *e*. A mesure que la réaction se produit, il se forme autour de cette électrode une cavité *f*, dans laquelle se réunit le carbure fondu ; on soulève peu à peu le charbon *e* et l'arc jaillit constamment entre ce charbon et le bain en fusion. L'opération est alimentée par les matières pulvérulentes qui remplissent le four et que la présence de la chaux rend peu conductrices; on peut ainsi effectuer la réaction dans un espace très restreint, on évite les pertes de chaleur et l'on peut, en augmentant le diamètre du four, y accumuler un garnissage intérieur extrêmement épais fourni par les matières non encore utilisées; on peut alors constituer les parois par une matière quelconque non réfractaire, telle que la fonte.

Lorsque l'opération est terminée, le four renferme un bloc *g* de carbure. On ouvre le circuit, on fait basculer la sole *b* et l'on reçoit le bloc *g*, ainsi que les matières inutilisées, dans un wagonnet *h;* la séparation du carbure s'effectue sur un tamis.

Les fours sont alimentés par un collecteur *k* et des conduits mobiles *i*. Dès que l'un d'eux est vide, on referme la sole *b*, on descend l'électrode *e*, on remplit la cavité et l'on procède aussitôt à une nouvelle opération. Les fours sont séparés par un revêtement *l* de magnésie, de chaux ou de calcaire.

Le modèle (fig. 4) est un peu différent. Les parois *a* sont toujours formées de briques de magnésie, de chaux ou de calcaire, et protégées par un revêtement *l*. La sole *b* est fixe et inclinée et communique toujours avec le pôle négatif. Un couvercle *m*, également en tôle, est traversé par le charbon positif *e* et percé de trous *n* pour le chargement. La partie inférieure *o* forme une chambre, qu'on remplit préalablement de carbure de calcium, au contact duquel on amène l'électrode *e*. Le carbure qui se produit pendant l'opération est recueilli par le trou de coulée *p*. En maintenant le four plein, on rend l'opération absolument continue.

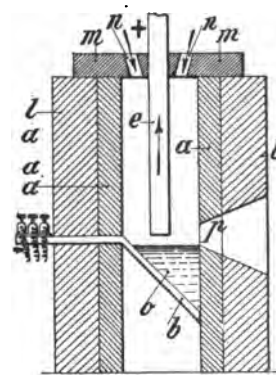


Fig. 4. — Four Bullier (autre modèle.)

La Société des carbures métalliques, qui vient de faire construire l'usine de N.-D. de Briançon, disposant d'une puissance de 5 000 chevaux, se propose d'utiliser également ces fours pour diverses opérations et notamment pour la fabrication de composés utiles à la métallurgie, tels que le carbure de chrome.

Les figures 5 et 6 représentent encore un autre modèle ; les mêmes organes sont désignés par les mêmes lettres.

Dans cet appareil, les poussières sont prises par la cheminée ou couloir *t*, qui se trouve en arrière du four.

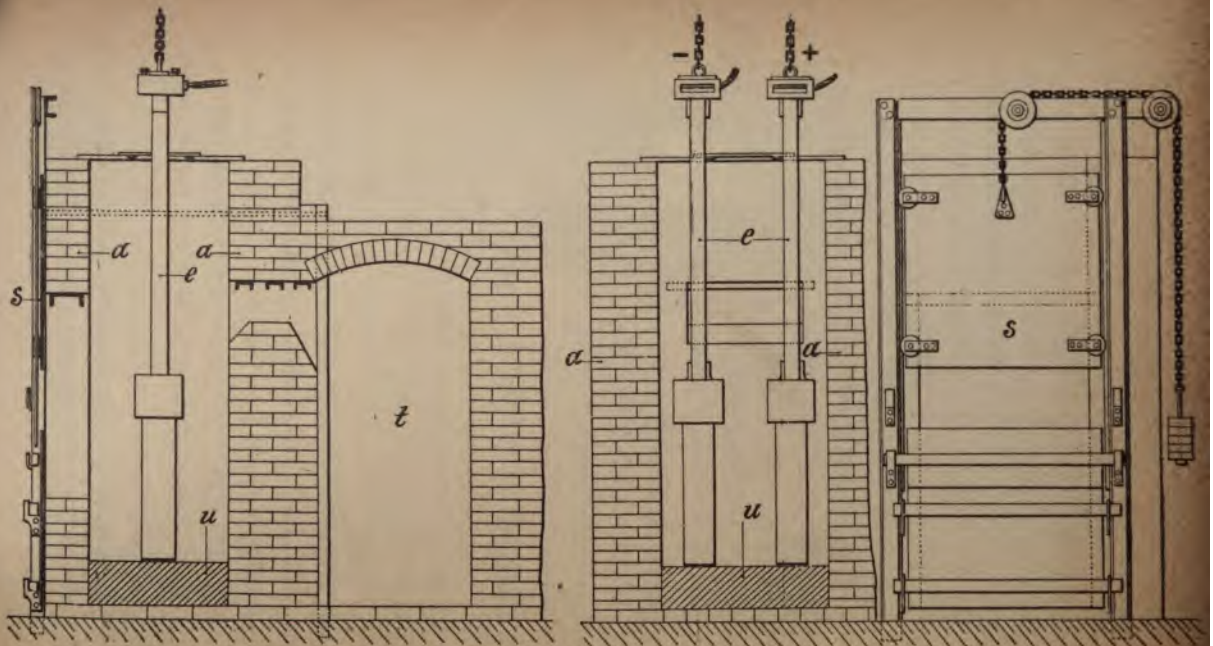


Fig. 5 et 6. — Four Bullier : autre modèle (coupes verticales et élévation).

La partie antérieure peut être fermée à volonté, complètement ou incomplètement, par un manteau *s*, qui glisse sur des galets. A mesure que le carbure se produit, on monte en avant du four un mur en briques sèches, qu'on maintient par des plaques de fer, et l'on remonte peu à peu le manteau *s*.

On peut aussi supprimer les charbons *e* et amener le courant au moyen de deux ou plusieurs électrodes *u*, ce qui évite de faire traverser au courant toute la masse du carbure et diminue la résistance. L'ensemble des deux électrodes remontera automatiquement, à mesure que la hauteur du bloc de carbure augmentera.

Four Héroult. — Ce four (fig. 7) est employé par l'usine de Froges (Isère), où l'on fabrique également l'aluminium[1]; il a servi d'abord à cette préparation. Il se compose d'un bloc de graphite G, protégé par une enveloppe de fonte B. Ce creuset est relié à l'électrode négative et isolé du sol par

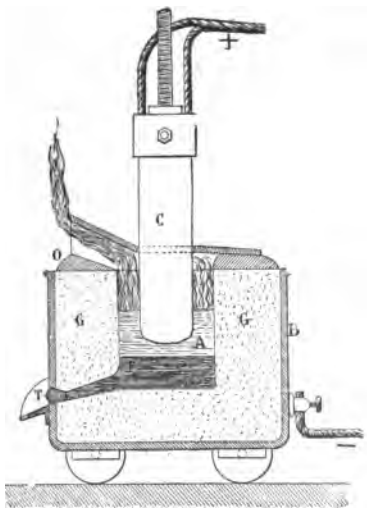


Fig. 7. — Four Héroult.

1. Voy. Lejeal, *L'aluminium* (Bibliothèque de chimie industrielle,) Paris, J. B. Baillière.

des roulettes, qui permettent de le déplacer; les conducteurs sont fixés par des boulons sur la paroi postérieure. Ce four peut être muni d'un couvercle. L'autre électrode C est verticale et pénètre par l'orifice de chargement; une mâchoire de cuivre sert à fixer les conducteurs positifs; une tige filetée, commandée par un mécanisme non figuré, permet d'abaisser ou de relever le charbon C.

Le four étant rempli du mélange de chaux et de coke, on abaisse le charbon C pour chauffer ces matières, puis on fait jaillir l'arc. Quand la réaction est terminée, on fait sortir le carbure par le trou de coulée T, et l'on recharge par la partie supérieure, sans interrompre le courant.

Four Willson. — La figure 8 montre le premier four employé par M. Willson; il ne diffère guère du précédent que par l'absence de roulettes. C'est un creuset en graphite B, entouré d'un revêtement de briques A et reposant sur une plaque de charbon carrée *b*, de 30 centimètres de côté et 25 millimètres d'épaisseur. Cette plaque est munie, sur l'un de ses côtés, d'une tige de fer qui se prolonge jusqu'en *a*, en dehors du revêtement extérieur, et communique avec l'une des bornes de la dynamo, représentée schématiquement en D; l'autre borne est reliée, par l'un des fils *w*, avec l'électrode de charbon verticale C, qui a 30 centimètres de longueur et 3 centimètres de diamètre; ce charbon est revêtu extérieurement d'un dépôt de cuivre électrolytique. Le couvercle E est formé d'une substance

isolante ou de graphite, isolé du creuset par un lut. Le trou de coulée est, pendant l'opération, fermé par un tampon d'argile.

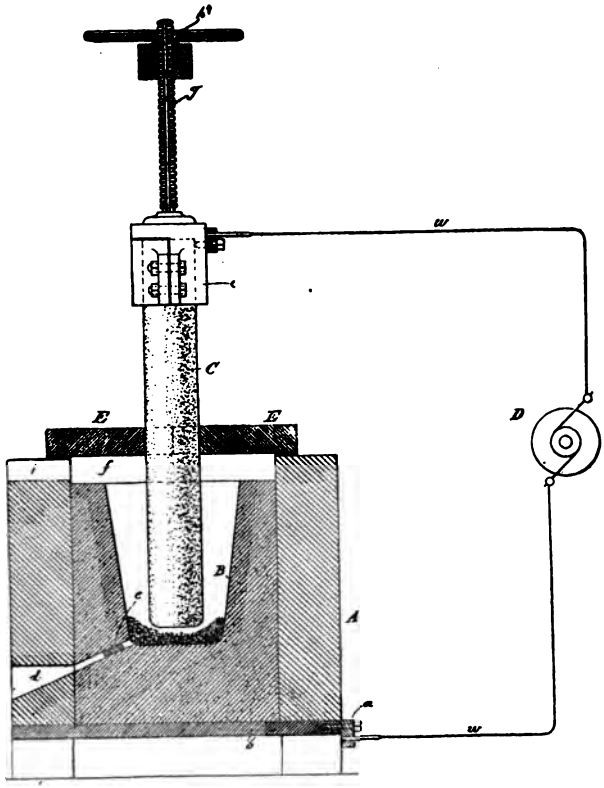


Fig. 8. — Four électrique Willson.

Four de Spray. — L'usine de Spray (North Carolina), appartenant à la *Willson Aluminium Company*,

emploie un four en briques (fig. 9), ayant 92 centimètres de longueur et 76 de largeur. 16 câbles *c*, de 1^{cm},9 de diamètre, font communiquer le pôle négatif avec une plaque de fer *a*, recouverte d'une couche de charbon *b*, de 20 centimètres d'épaisseur, formée

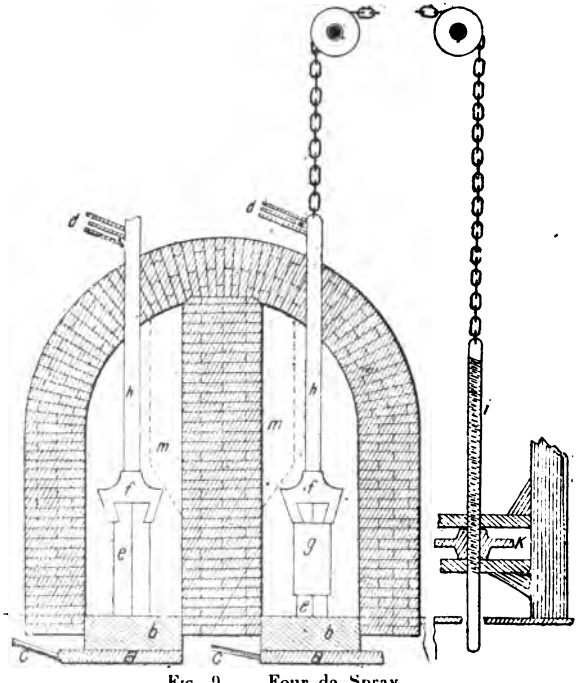


Fig. 9. — Four de Spray.

d'un mélange de coke et de goudron ou de débris de charbons à lumière. L'autre électrode est constituée par 3 paires de charbons *e*, ayant chacune 26 centimètres carrés de section et 90 centimètres de

longueur, enveloppées d'une feuille de tôle *g*, et maintenues par des mâchoires *f*. La feuille *g* se termine à 10 centimètres de l'extrémité des charbons et est fixée au porte-crayon *f* par des fils de fer. Le porte-crayon est à son tour vissé à l'extrémité d'une tige de cuivre *h*, de 19 centimètres carrés de section, qui communique avec la dynamo par un faisceau de 16 câbles *d*. La tige *h* est fixée à une chaîne qui passe sur des poulies et s'attache d'autre part à une longue vis *i*; on déplace l'électrode en agissant sur la roue *k*, qui commande l'écrou fixe de cette vis.

La face antérieure est fermée par quatre portes de fer superposées ; les deux plus élevées restent généralement fermées. Les gaz sont conduits à la cheminée par les carneaux *m*.

Four du Niagara. — La nouvelle usine du Niagara emploie des fours montés sur roulettes, comme ceux de Froges. Le carbure se forme dans un chariot en fer, mobile sur rails, et relié, par l'intermédiaire de la saillie *z*, de la pince *p* et des câbles Q au pôle négatif (fig. 10). Le fond de ce chariot est recouvert d'une couche de charbon de 10 à 20 centimètres d'épaisseur.

Quand le chariot est plein, l'électrode positive *b* se trouve soulevée au-dessus de ses bords ; on ouvre la porte *c*, on le fait sortir et on le remplace par un chariot vide. On referme la porte *c*, on abaisse l'électrode *b* et l'on recharge le chariot du mélange de chaux et de coke par les conduits *e* et le distributeur *f*,

formé de quatre lames qui tournent automatiquement. Au moyen de la barre *g*, on communique au chariot un mouvement de va-et-vient, avec une vitesse de 20 secousses par minute, afin de tasser le mélange, de le répartir uniformément, et de déplacer l'arc régulièrement.

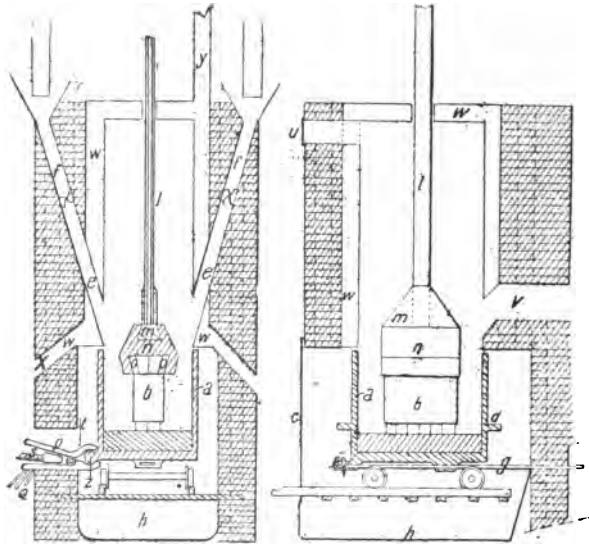


Fig. 10. — Four du Niagara.

Lorsque les flammes commencent à se dégager par la porte U, on la ferme, et les gaz s'échappent par la cheminée V, qui prend naissance vers le haut du chariot. En outre, la partie supérieure du four est encore refroidie par un courant d'air qui suit le chemin XWY. Cette disposition maintient le porte-charbons et

sa tige dans une atmosphère peu chaude et non oxydante.

L'électrode supérieure est constituée par 12 charbons maintenus par les mâchoires *mn* et la tige *l*, qui, à cause du poids, est formée d'une barre de cuivre recouverte de deux couches de fer.

Quand un chariot sort du four, on le laisse refroidir pendant 6 à 12 heures et l'on jette le contenu sur une grille en fer; les matières non utilisées traversent la grille et sont recueillies au-dessous. Sous le four est un cendrier *h*, qui reçoit les matières tombant en dehors du chariot; on les recueille par une porte située au-dessous de C.

Four Vincent. — Ce four est constitué par une cavité horizontale comprise entre deux blocs de charbon verticaux, représentant les électrodes. Le bloc inférieur est fixe; l'autre est mû par un treuil. Les matières à traiter sont introduites dans une trémie latérale et amenées par une vis d'alimentation ; le carbure fondu s'écoule dans une fosse. Le four est maintenu clos, pour éviter l'usure rapide des charbons.

Four Borchers. — M. Borchers a fait connaître, en 1891, un four qu'il employait déjà depuis plusieurs années à la réduction des oxydes des métaux rares par le carbone. Cet appareil se compose d'un massif de briques réfractaires avec une cavité centrale ; les parois sont traversées par les électrodes en charbon, que réunit une tige mince de même substance. Cette tige est portée à une haute température par le passage

du courant : cette disposition constitue la partie caractéristique de l'appareil. L'auteur, s'appuyant sur ce qu'il avait affirmé, en 1891, que « tous les oxydes sont réductibles par le carbone chauffé électriquement, » a contesté la validité des brevets délivrés en Allemagne à M. Bullier, en 1895. Cette opinion n'est pas soutenable, M. Borchers n'ayant jamais, avant cette époque, préparé de carbure de calcium.

Four Pictet. — M. R. Pictet a fait breveter récemment un four dont le principe est certainement ingénieux. Guidé par ses travaux antérieurs sur la production des températures très basses, il a jugé préférable de procéder par étapes successives. Les matières à traiter, contenant un excès de charbon, sont donc introduites au sommet d'un four cylindrique BB en briques réfractaires (fig. 11) ; elles descendent peu à peu sous l'action de la pesanteur et sont soumises successivement à trois modes de chauffage de plus en plus intenses. C'est d'abord, à la partie supérieure A, la combustion du charbon sous l'influence d'un fort courant d'air, amené par une ou plusieurs tuyères D. Dans la portion médiane E agissent un ou plusieurs chalumeaux, constitués par des tubes concentriques FG, et alimentés par l'hydrogène ou le gaz à l'eau d'une part, l'air ou l'oxygène de l'autre. Enfin, la réaction s'achève, à la partie inférieure H, par l'action de l'arc électrique, qui jaillit entre les électrodes I I. Afin de protéger l'enveloppe intérieure du four contre les effets de la température élevée, on pratique dans le fond

une ouverture étroite munie d'un rebord vertical ; on retient ainsi une masse de carbure qui protège les parois contre le rayonnement. Le reste s'écoule par K.

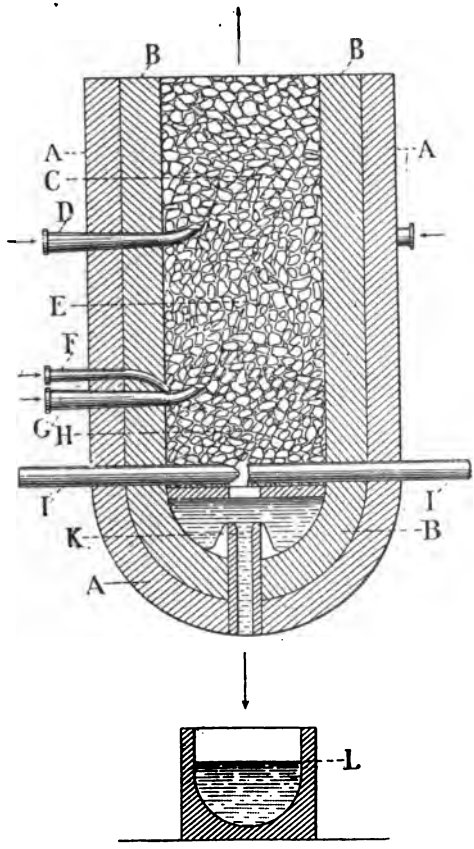


Fig. 11. — Four Raoul Pictet.

La fabrication est continue et l'on a l'avantage de

remplacer, dans une grande partie de la préparation, l'énergie électrique par une énergie moins coûteuse. Mais on peut se demander si les parois inférieures du four seront suffisamment protégées. En outre, il paraît difficile d'obtenir un produit bien pur, car, en augmentant la proportion de charbon, on augmente les impuretés, et, par la combustion d'une partie de ce charbon, le mélange peut cesser d'être intime, bien que présentant les proportions voulues ; il est possible aussi que l'écoulement, produit par la pesanteur, ne soit pas assez régulier pour que le mélange se transforme complètement.

Four Patin. — Ce four est continu ; la charge des matières, le défournement et toutes autres manœuvres de fonctionnement s'effectuent simultanément, de sorte qu'il n'y a aucun arrêt dans la production. Les matières sont introduites par le haut du four et sortent traitées par le bas.

L'appareil peut se construire tout en fonte, mais on le fait plutôt en maçonnerie et en fer. La section est rectangulaire. Le corps, d'épaisseurs différentes, est en briques et cerclé de fer. Les angles extérieurs sont protégés par des cornières reliées aux frettes. L'ensemble comprend :

1° un magasin *a* (fig. 12), par lequel on introduit la matière ;

2° Le four proprement dit, avec les électrodes *b* ;

3° La chambre d'extraction *c* ;

4° Les fondations, renfermant un piston, dont

nous indiquons le rôle plus loin, et son appareil de manœuvre.

Le magasin n'a rien de particulier. Il porte sur deux

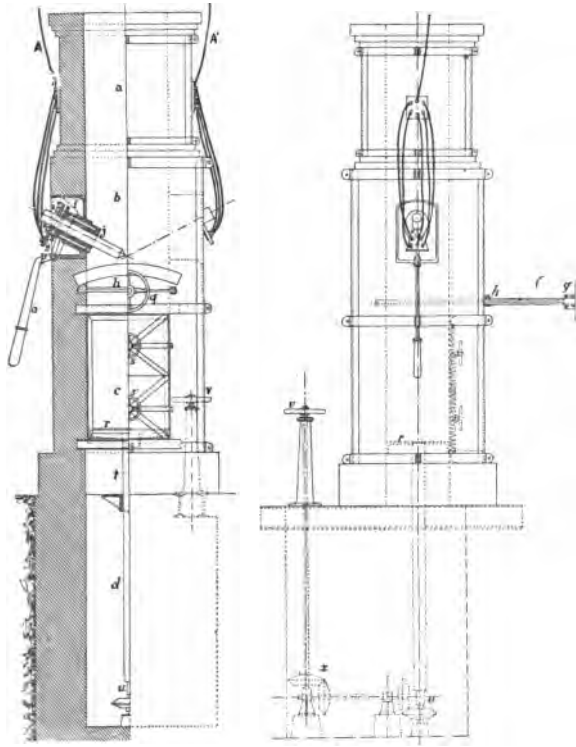


Fig. 12. — Four O. Patin (élévation et coupe verticale).

de ses faces les bornes d'arrivée du courant A, qui sont reliées aux électrodes par des fils souples.

Au four proprement dit sont fixés les guide-électrodes

en fonte qui reçoivent les porte-électrodes cylindriques : ceux-ci sont formés de plusieurs pièces qui, assemblées, en constituent deux principales, la pièce *i* en bronze, qui est en contact avec l'électrode à laquelle elle communique le courant électrique, et la pièce en fonte *j* qui, intérieurement, assure le serrage de *i*, et extérieurement permet le coulissement dans la partie intérieure de *f*. Il est facile de comprendre que, par la forme conique des pièces *i* et *j*, en vissant les écrous *k* et *m*, on obtient un serrage parfait de *i*, qui amène le courant, et de l'électrode.

Pour le refroidissement des charbons pendant la marche, une chambre circulaire *m* est réservée dans toute la longueur de *j* et une circulation d'eau sous pression est assurée. Les tubulures d'entrée et de sortie d'eau sont diamétralement opposées.

Les électrodes sont manœuvrées au moyen d'un levier *o* s'articulant au point *p*.

Le vannage *h* obture à volonté, par la manœuvre du volant *q*, l'orifice intérieur du four. Son rôle sera expliqué plus loin.

La chambre d'extraction a intérieurement la section nécessaire au passage du piston ; elle possède sur une de ses faces, suivant les besoins, une ou deux portes en fer, dont la fermeture hermétique est faite par des vis montées sur les petits volants SS′ et qui font pression sur les portes.

L'examen de la figure montre bien la manœuvre du piston.

t est une gaine maintenant à la partie supérieure le piston avec lequel elle fait corps. Elle est filetée à sa partie inférieure sur une certaine longueur. *u* est une vis pénétrant dans toute la longueur de la tige du piston. Quand le volant *v* est manœuvré, un mouvement rotatif est transmis par le jeu d'engrenages *x* à la vis *u*, et le piston, guidé dans la chambre d'extraction, monte ou descend, suivant le sens de la rotation imprimée au volant *v*.

Les deux électrodes étant mises en contact, c'est-à-dire occupant la position indiquée au dessin, les pointes se rencontrent à peu près dans l'axe du four. Le piston est alors remonté jusqu'au haut de sa course, c'est-à-dire à quelques centimètres au-dessous de la pointe des électrodes. La matière est versée dans le four. On met la quantité nécessaire pour que le magasin soit à moitié rempli.

On fait alors passer le courant dans les électrodes, qu'on écarte en manœuvrant les porte-électrodes, pour amorcer l'arc voltaïque.

Les appareils de mesure, voltmètre et ampéremètre, indiquent la consommation à tout instant et le réglage de l'arc se fait suivant les cas, soit en faisant varier une résistance dans le circuit, soit en écartant ou en rapprochant les électrodes.

Lorsque la matière est en fusion, on abaisse lentement le piston en manœuvrant le volant *v*. On continue ainsi, en descendant lentement, au fur et à mesure de la formation du carbure.

Il est facile de recharger en pleine marche, par le magasin, dans le cas où la matière à traiter viendrait à manquer.

Lorsque le piston est arrivé presque au bas de sa course, c'est-à-dire lorsque l'opération est terminée,on fait le défournement. Pour cela, le piston est descendu rapidement jusqu'au bas de sa course, de telle sorte que la tête du bloc de carbure produit se trouve en contre-bas de la vanne, que l'on ferme pour soutenir la matière à traiter qui reste dans le magasin. Les portes de la chambre d'extraction sont ouvertes, le bloc est retiré rapidement et, les portes étant refermées, le piston est remonté jusqu'au-dessous de la vanne, que l'on ouvre de nouveau, et la nouvelle fournée commence. Une nouvelle provision de matière à traiter est versée comme il a été dit plus haut et l'opération continue.

Cet appareil occupe peu de place et peut être manœuvré par un seul homme ; les matières se dessèchent dans le magasin et arrivent dans le four déjà chaudes.

Four Patter. — M. Patter vient de faire breveter aux États-Unis un four utilisant le déplacement de l'arc sous l'influence d'un champ magnétique alternatif.

Les matières à traiter, introduites par la trémie O (fig. 13), glissent lentement sur un plan incliné en charbon C^2, où elles sont soumises à la chaleur de l'arc voltaïque, et sortent par l'ouverture T. Le plan de charbon C^2 est relié au pôle négatif de la dynamo D, dont le pôle positif communique avec cinq charbons C^1, ayant la forme de plaques perpendiculaires à la figure

et pouvant coulisser dans des glissières fixes ; le four contient donc cinq arcs en quantité. Mais ces arcs, et

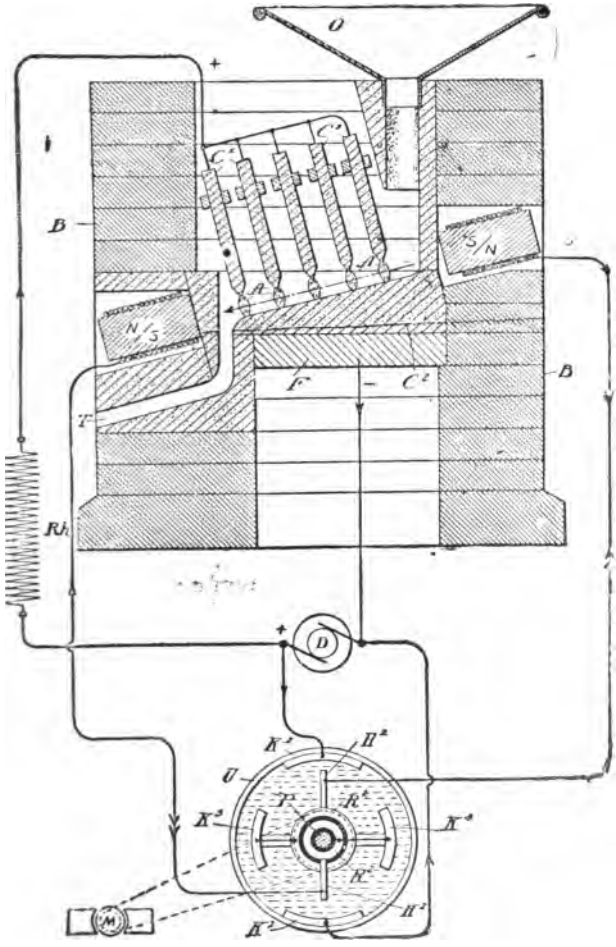


Fig. 13. — Four Patter.

c'est là le caractère distinctif de l'appareil, sont placés entre les pôles opposés de deux électro-aimants NS, alimentés par un courant alternatif. Sous l'action du champ ainsi produit, les arcs se déplacent et passent alternativement de l'une à l'autre des extrémités des charbons C^1, chauffant ainsi les matières sur toute la largeur du four.

Le courant alternatif est fourni par une dérivation prise sur la dynamo D elle-même et qui traverse un commutateur tournant. Les deux fils dérivés aboutissent à deux segments cylindriques K^1 K^2, placés dans un liquide isolant. Suivant l'axe de ces pièces tourne un arbre actionné par un petit moteur M et qui comprend un noyau isolant P et deux manchons en métal concentriques R^1 R^2, séparés par une couche isolante. Les deux manchons R^1 R^2 portent respectivement les palettes K^2 K^4, qui, dans leur rotation, viennent frotter à tour de rôle sur les segments K^1 K^2. Les pièces R^1 R^2 reçoivent donc un courant alternatif, qu'elles transmettent aux électro-aimants par les balais H^1 H^2.

CHAPITRE V.

USINES A CARBURE DE CALCIUM.

Usines à carbure de calcium. — Usine de Froges. — Usine de Neuhausen et diverses. — Usine de Spray. — Usine du Niagara. — Usine de N.-D. de Briançon.

Usines à carbure de calcium. — Après avoir décrit les fours électriques employés pour la fabrication du carbure de calcium, il est intéressant de donner quelques détails sur les usines, encore peu nombreuses, qui se livrent à cette industrie.

Usine de Froges. — Cette usine, exploitée par la Société électrométallurgique française, est située à 20 kilomètres de Grenoble, sur le ruisseau des Adrets. Elle a été créée pour la fabrication de l'aluminium par le procédé Héroult, modifié depuis par M. Kiliani ; elle utilise, pour cette opération, la force motrice fournie par 3 turbines à axe horizontal, dont deux de 300 chevaux et la dernière de 200.

Les deux grandes turbines actionnent des dynamos Brown à courant continu et à faible tension, donnant chacune 6 000 ampères et 15 volts. La troisième commande une petite dynamo shunt de la même marque, type Manchester, donnant 500 ampères et

65 volts, qui sert d'excitatrice pour les deux précédentes et est employée en outre pour l'éclairage de l'usine. C'est une partie du courant fourni par les grosses dynamos qui est utilisée aujourd'hui pour la fabrication du carbure de calcium. Les machines sont reliées aux fours directement, par deux câbles nus, sur le trajet desquels est placé un ampèremètre. Les conducteurs négatifs sont placés sur le sol, dans des conduits en bois ; les conducteurs positifs sont suspendus par des cordages à la charpente du bâtiment.

Les fours sont ceux qui servaient autrefois à préparer l'aluminium par le procédé Héroult.

Usine de Neuhausen et diverses. — L'usine de Neuhausen (Suisse) est située près de Schaffouse ; elle fabrique également l'aluminium par le procédé Héroult-Kiliani[1], en utilisant une force hydraulique de 4 000 chevaux ; elle prépare le carbure de calcium par le procédé Bullier. Les fours sont aussi du système Héroult. La *Aluminium Industrie Actien Gesellschaft,* qui exploite cette usine, vient d'acquérir une autre chute d'eau de 6 000 chevaux à Rheinfelden, près de Bâle ; cette usine va fabriquer également le carbure de calcium.

Le procédé Bullier est employé aussi à Bitterfeld, en Allemagne.

1. Voy. A. Lejeal, l'*Aluminium*, le *Manganèse*, le *Baryum*, le *Strontium*, le *Calcium*, le *Magnesium*, Paris 1894 (Encyclopédie de chimie industrielle).

Nous signalerons encore la création toute récente d'une usine qui doit utiliser la force motrice du Giffre, près de Toulouse.

Usine de Spray. — L'usine de Spray avait été créée seulement pour des essais ; elle présente néanmoins un certain intérêt, a cause des expériences qui y ont été exécutées par MM. Houston, Kennelly et Kinnicutt.

La puissance est fournie par une turbine jumelle horizontale Leffel. La roue à 75 centimètres de diamètre et peut fournir, pour une chute de 8,40 mètres, une puissance de 300 chevaux avec une vitesse de 206 tours par minute et une ouverture des vannes de 3/4. La turbine est reliée directement, par des courroies en tandem, avec deux alternateurs Thomson-Houston, à 14 pôles, de 120 kilowatts, faisant 1 070 tours et donnant une force électromotrice efficace maxima de 1 155 volts. Chaque alternateur est excité par une machine des mêmes inventeurs donnant 110 volts et 18 ampères à 2 500 tours.

Les conducteurs principaux issus du tableau de distribution se rendent à un groupe de 16 transformateurs (8 pour chaque dynamo), représentant une capacité totale de 240 kilowatts ou 321,8 chevaux. Ces appareils abaissent la tension de 1 000 volts à 100 volts aux bornes du four. Il y a 16 câbles pour chacun des deux fours, 8 pour chaque électrode ; ils ont environ 1,90 centimètre de diamètre et sont formés chacun de 123 fils séparés.

Usine du Niagara. — On sait que les chutes du Niagara représentent une énorme puissance, 7 000 000 de chevaux environ. La *Niagara Falls Power C°*, fondée en 1886, se propose de capter et d'utiliser une partie de cette puissance, soit 100 000 chevaux sur la rive américaine et 250 000 sur la rive canadienne. Trois unités de 5 000 chevaux sont actuellement en service : on a adopté les courants biphasés. Sur les 15 000 chevaux ainsi obtenus, une petite partie, 1 000 chevaux, est employée pour la fabrication du carbure de calcium ; cette puissance sera, dit-on, portée plus tard à 5 000 chevaux.

Le courant alternatif est produit à 2 200 volts et ramené par des transformateurs à 110. L'installation comprend cinq parties : la salle des broyeurs, celle des fours, celles des transformateurs, un magasin pour le carbure fabriqué et un laboratoire.

Le coke et la chaux sont mélangés dans des proportions de 100 kilogrammes du premier et 75 kilogrammes de la seconde en poids, après avoir été réduits séparément en poudre au moyen de broyeurs Dodge et de cylindres, puis passés au tamis. Le mélange doit être fait très intimement ; il est ensuite amené aux fours par des transporteurs à hélice et des élévateurs à godets.

Les fours sont à l'étage supérieur ; chacun a quatre creusets pouvant contenir 400 kilogrammes de mélange. Les électrodes sont constituées, l'une par le creuset lui-même, l'autre par un crayon en charbon.

On met d'abord dans le creuset une certaine quantité de coke broyé et on abaisse le crayon pour établir le circuit et former un arc à haute température, puis, à mesure que le charbon devient incandescent, on verse le mélange dans le creuset et on l'y bourre. La réaction chimique se produit, le carbone et le calcium se combinent, et il se dégage de l'oxyde de carbone, qui est emporté dans la cheminée surmontant le four. L'opération dure de trois à huit heures, selon l'intensité du courant électrique. Un mélange de 875 kilogrammes de chaux et de 565 kilogrammes de charbon, total 1 440 kilogrammes, donne 1 000 kilogrammes de carbure de calcium. On produit 5 tonnes par jour. Le coût est de 23 dollars par tonne, ce qui correspondrait à 133 francs par 1 000 kilogrammes, la tonne étant de 906 kilogrammes. On ne dit pas si ce prix comprend les dépenses totales constituant le prix de revient commercial ou seulement les frais de fabrication, force motrice et matières.

Le carbure de calcium fabriqué est emballé dans des tonneaux imperméables à l'air et à l'humidité et expédié en totalité à destination de la Pensylvanie.

Usine de Notre-Dame-de-Briançon (Savoie). — Notre-Dame-de-Briançon est située au milieu de la Tarentaise, c'est-à-dire dans la vallée antérieure de l'Isère ; une ligne de chemin de fer, appartenant à la C^ie^ P.-L.-M., fait communiquer le village avec Albertville et Moutiers.

La [illegible] entre ces deux [illegible] les deux principaux, [illegible] le village de Notre-Dame-de-Briançon.

Chacun de ces deux ruisseaux peut être utilisé sous une chute de 300 mètres. Le plus important, l'Eau-Rousse, débite en extrêmes basses eaux un volume d'un mètre cube par seconde; l'autre, le ruisseau de la Glaise, 500 litres environ; les basses eaux ordinaires présentent plus du double de ces deux volumes d'eau.

Avec une pareille hauteur de chute, chaque litre d'eau donne une force de 5 chevaux; l'usine peut donc disposer d'une puissance de plus de 7 500 chevaux en extrêmes basses eaux, et de plus de 15 000 en basses eaux ordinaires.

La première installation de la Société des Carbures emprunte sa force motrice à l'Eau-Rousse, et utilise pour le moment 230 mètres de chute.

L'usine est située au bord de l'Isère: elle se compose d'un grand bâtiment principal de 20 mètres de largeur sur 40 mètres de longueur et 16 mètres de hauteur; une annexe de 12 mètres occupe toute la longueur. Cette usine est construite entièrement en pierres et couverte par une ferme métallique d'une seule portée.

Un gros mur partage dans le sens de la longueur le grand bâtiment en deux parties inégales, dont la plus petite, large de 8 mètres, constitue la chambre des

machines ; la plus grande partie et l'annexe sont occupées par 32 fours placés sur 4 rangs.

Des salles destinées au broyage, à l'emballage et aux autres manœuvres secondaires de la fabrication sont ménagées sur les bas-côtés.

Des voies ferrées sillonnent l'intérieur de la salle des fours, et toutes les dispositions ont été prises pour assurer à la marche un fonctionnement aussi simple que rapide.

Les machines se composent de cinq alternateurs biphasés de 530 chevaux chacun et de deux excitatrices de 25 chevaux.

Ils marcheront à 600 tours par minute, mais ils peuvent, ainsi que les turbines, résister à la force centrifuge en cas d'emballement total ; la vitesse en ce cas ne pourrait d'ailleurs dépasser 1 000 tours.

Le type de machines adopté peut supporter un emballement ; pour couper le courant il n'est donc pas nécessaire d'arrêter la turbine ; néanmoins chaque branche de la tuyauterie porte deux vannes, une à papillon pour arrêt rapide, une à tiroir pour arrêt étanche.

Les turbines sont placées en porte-à-faux à l'extrémité des arbres des dynamos, qui sont horizontaux, et complètement enfermées dans des bâches en fonte ; leur diamètre extérieur est de $1^{m},20$.

A 230 mètres au-dessus du niveau de l'usine et à 1 300 mètres de distance, un barrage en maçonnerie est établi en travers du lit de la rivière.

Une prise d'eau latérale, fermée par deux vannes,

admet l'eau dans la chambre, où se trouvent deux grilles horizontales perforées, à nettoyage automatique ; après avoir passé à travers ce crible, l'eau traverse des vannes, qui, en cas d'accident, se ferment automatiquement ; elle est ensuite introduite dans une canalisation métallique qui la conduit aux machines.

La canalisation métallique, entièrement en tôle d'acier, a un diamètre de 80 centimètres, les épaisseurs de tôle variant de 4 à 13 millimètres.

Elle commence par suivre la rive gauche du ruisseau, sous une pente très faible; son niveau s'écarte alors de plus en plus de celui de la rivière, qui descend rapidement par des cascades successives.

Après un parcours de 300 mètres, la conduite franchit le ruisseau au moyen d'une suspension rigide, et passe sur la rive droite, qu'elle ne doit plus quitter.

Cette canalisation traverse deux arêtes de roches par deux tunnels, puis arrive sur une grande paroi verticale qui surplombe par places; des fers ont été scellés dans le roc et un plancher recouvre le chemin, taillé en encorbellement dans le rocher à pic; au fond du ravin, sous une profondeur de 150 mètres, coule le torrent l'Eau-Rousse. Après ce passage difficile, la conduite, qui se trouve déjà à 50 mètres au-dessous de la prise d'eau, atteint un col dans lequel une plate-forme a été taillée, et descend directement à l'usine en suivant sensiblement la ligne de la plus grande pente du sol, pente de 60 centimètres par mètre sur un parcours de

FIG. 14. — Construction de l'usine de N.-D. de Briançon. Départ d'un tuyau pour la plate-forme supérieure. (D'après une photographie communiquée par M. Bullier).

plète au Perrot, un mélange de sulfate de calcium et de charbon de sucre correspondant à la formule $SO^4Ca + 4C$; l'opération a duré cinq minutes, avec un courant de 60 volts et 900 ampères.

Le produit obtenu est encore fondu et à cassure cristalline, mais il se décompose très lentement par l'eau : le gaz recueilli contient 99,2 0/0 d'acétylène. Avec l'acide chlorhydrique étendu, on a recueilli

	I	II
Hydrogène sulfuré. . . .	56,20	57,00
Acétylène.	43,30	42,60

La même expérience, exécutée avec un mélange de sulfate de baryum et de charbon dans les mêmes proportions, a donné une masse cristalline bien fondue, ne dégageant que très peu d'acétylène avec l'eau. Par l'acide chlorhydrique dilué, l'attaque est très vive et l'on a

	I	II
Hydrogène sulfuré. . . .	88,20	86,90
Acétylène.	11,40	12,80

Un mélange de phosphate de baryum et de charbon, chauffé pendant 3 minutes, dans un tube de charbon, par un courant de 70 volts et 950 ampères, a donné aussi une masse bien fondue, cristalline et de couleur brun foncé ; mais le gaz dégagé par l'eau possédait une odeur alliacée et se composait de

	I	II
Acétylène.	89,00	88,50
Hydrogène phosphoré. . .	10,90	11,30

Parmi les impuretés que peut contenir la chaux, il faut

donc se défier surtout des phosphates, qui sont facilement réduits par le charbon et donnent un phosphure décomposable par l'eau, avec production d'hydrogène phosphoré.

Enfin « une chaux mélangée de magnésie ne donne que difficilement du carbure de calcium. Le fait nous semble très simple, puisque, dans notre four électrique, la magnésie ne fournit pas de carbure de magnésium ».

Expériences de MM. Morehead et de Chalmot. — MM. Morehead et de Chalmot, en Amérique, ont analysé divers échantillons de carbure de calcium et déterminé leur rendement en acétylène ; ils ont trouvé les résultats suivants :

Carbure.	96,6	93,2	86,4	84,7	61,0	58,5
Chaux.	0,6	4,2	9,5	10,7	27,5	1,1
Charbon.	»	»	»	1,6	3,2	25,6
Divers.	2,8	2,6	4,1	3,0	8,3	14,8
Litres d'acétylène par kg. .	352	339	314	310	218	345

Expériences de MM. Bullier et de Perrodil. — Ces chimistes ont recherché les impuretés contenues dans le carbure de calcium du commerce. Ces matières peuvent être divisées en deux catégories : la première comprend des corps inattaquables par l'eau et dont la présence est incapable, par conséquent, de modifier la composition du gaz résultant de l'action de ce liquide sur le carbure. Cependant ces substances ne sont pas exemptes d'inconvénients, car elles diminuent le rendement du carbure en acétylène. Dans le second groupe se placent les corps décomposables par l'eau et dont la présence rend par suite l'acétylène impur.

Parmi les corps de la première classe, on a parfois signalé le diamant, peut-être par suite d'une confusion avec le borure de carbone. Outre ce dernier corps, MM. Bullier et de Perrodil signalent le graphite, le carborundum ou siliciure de carbone, enfin des carbures et siliciures métalliques noyés dans un excès de métal et formant de petits culots métalliques.

Le graphite est dû à l'action calorifique de l'arc sur la charbon, ainsi que l'ont montré Despretz, puis M. Moissan.

Le borure de carbone provient de l'action du charbon, à haute température, sur l'acide borique employé comme agglomérant dans les électrodes. M. Moissan conseille de ne pas employer de charbons contenant plus de 1 0/0 de cendres, afin d'éviter la présence d'une quantité notable d'acide borique ou de silicates.

La silice provenant, soit du charbon, soit de la chaux, donne naissance, dans les mêmes conditions, au carborundum ou siliciure de carbone.

Les carbures et siliciures métalliques résultent de l'action directe du charbon et du silicium, à la température de l'arc, sur les métaux dont les oxydes sont contenus dans les cendres du charbon. Les siliciures ne sont pas décomposés par l'eau, mais ils pourraient donner, avec un acide étendu, de l'hydrogène silicié, spontanément inflammable dans ces conditions.

La seconde catégorie d'impuretés comprend les corps décomposables par l'eau ; tels sont les azotures métalliques, le sulfure d'aluminium Al^2S^6 et surtout

les phosphures. Ces substances sont toujours en très petite quantité et il est facile de les faire disparaître complètement.

Le phosphore provient de la réduction des phosphates contenus dans les cendres du charbon ou dans la chaux, comme nous l'avons déjà vu.

C'est au sulfure d'aluminium Al^2S^6 que MM. Bullier et de Perrodil attribuent l'hydrogène sulfuré qui peut se trouver dans l'acétylène, car les sulfures alcalino-terreux ne produisent ce gaz qu'en présence d'un acide étendu ; et il est douteux qu'ils puissent exister à la température de l'arc. « On pourrait plutôt croire qu'il existe là un nouveau composé contenant du calcium, du charbon et du soufre, produit qui jouirait de la même propriété que le carbure de calcium d'être décomposable par l'eau. »

D'un autre côté, ces chimistes ne pensent pas que l'azote de l'air se combine au calcium dans ces conditions ; ils supposent plutôt que la chaux réagit sur des azotures métalliques perdus dans la masse du carbure. De là peut résulter, dans l'acétylène, une petite quantité d'ammoniaque, qu'il est facile d'enlever par l'eau.

On voit que les composés phosphorés et sulfurés ne peuvent se trouver dans l'acétylène qu'en quantité insuffisante pour constituer un danger ou même un inconvénient sérieux ; il est d'ailleurs facile de les faire disparaître complètement par une bonne fabrication.

CHAPITRE VII.

PROPRIÉTÉS DES CARBURES ALCALINO-TERREUX.

Chaleur de formation du carbure de calcium. — Propriétés physiques du carbure de calcium. — Propriétés chimiques. — Action de l'eau. — Action des acides et des corps composés. — Composition du carbure de calcium. — Propriétés du carbure de baryum. — Propriétés du carbure de strontium. — Conclusions. — Rôle géologique de ces carbures.

Chaleur de formation du carbure de calcium. — Le carbure de calcium est endothermique, comme l'acétylène lui-même. Sa chaleur de formation a été mesurée par M. de Forcrand, à l'aide d'un échantillon bien pur, provenant du laboratoire de M. Moissan.

Ce carbure a été dissous dans l'acide chlorhydrique ; il se forme du chlorure de calcium et de l'acétylène. Pour avoir le poids réel du carbure, on déduisait du poids primitif celui du carbone insoluble resté au fond de l'appareil. On peut se servir aussi du volume d'acétylène dégagé, ou déterminer le titre acide de la liqueur finale : c'est ce dernier procédé qui a paru le plus digne de confiance. La moyenne de deux expériences très concordantes a donné :

$$C^2Ca \text{ sol.} + 2HCl\ (36^g5 = 2 \text{ lit.}) = C^2H^2 \text{gaz} + CaCl^2 \text{ dissous dans } 4 \text{ l.} \ldots\ldots\ldots + 58^{cal}25$$

Pour déduire de ce nombre la chaleur de formation de l'acétylure de calcium, il faut tenir compte :

1° De la chaleur de formation de l'acétylène, soit :

$$-58{,}1^{cal} \text{ à partir de } C^2 \text{ diamant.}$$

ou

$$-51{,}5 \text{ à partir de } C^2 \text{ amorphe.}$$

(d'après les dernières mesures de MM. Berthelot et Matignon).

2° De la réaction :

$$Ca \text{ sol.} + 50 \text{ l. d'eau} = CaO^2H^2 \text{ dissous} + H^2 \text{gaz.} \quad . \quad + 81^{cal}1$$

3° Enfin de la chaleur de neutralisation :

$$CaO^2H^2 \text{ dissous dans } 50 \text{ l.} + 2HCl \text{ dissous dans } 4 \text{ l.} \quad + 28^{cal}$$

Il n'y a pas lieu de se préoccuper de la différence de dilution des liqueurs finales, qui ne produisait pas d'effet thermique appréciable.

M. de Forcrand a trouvé ainsi :

$$C^2 \text{ diamant} + Ca \text{ sol.} = C^2Ca \text{ sol..} \quad . \quad . \quad - 7^{cal}25$$
$$C^2 \text{ amorphe} + Ca \text{ sol.} = C^2Ca \text{ sol..} \quad . \quad . \quad - 0 \quad 65$$

Le carbure de calcium est donc endothermique.

Dans les mêmes conditions, la chaleur de formation de l'acétylure de sodium C^2Na^2 serait, d'après le même auteur, —9,76 et —2,96 calories.

Propriétés physiques du carbure de calcium. — La masse de carbure extraite d'un four électrique se clive facilement et présente une cassure nettement cristalline; on en détache des cristaux opaques, brillants, d'un aspect mordoré. Les lamelles minces, au

pagnée d'un grand dégagement de chaleur, qui ne va jamais, cependant, jusqu'à l'incandescence.

Une analyse endiométrique du gaz dégagé a fourni à M. Moissan les résultats qui suivent :

Gaz analysé.	1,28
Oxygène.	15,15
Gaz total.	16,43
Après étincelle.	14,50
Après potasse	11,98
Contraction.	1,93
CO^2 par différence.	2,52

Or la formule de l'acétylène indique 1,95 comme contraction et 2,56 comme volume d'acide carbonique.

La pureté du gaz a encore été vérifiée au moyen de sa densité. Dans deux expériences, M. Moissan a trouvé 0,907 et 0,912. M. Berthelot avait indiqué 0,92 et la densité théorique est 0,90.

L'action de la vapeur d'eau sur le carbure de calcium, au rouge sombre, est beaucoup moins énergique. Une couche de charbon et de carbonate entoure bientôt ce corps et arrête l'attaque. Le gaz dégagé se compose d'acétylène et d'hydrogène.

Lorsqu'on ajoute à l'eau une proportion croissante d'un liquide n'attaquant pas le carbure de calcium, comme l'acide acétique, l'attaque se ralentit de plus en plus.

Enfin, si on laisse l'acétylure de calcium exposé à l'air humide, sa surface est attaquée lentement par la vapeur d'eau : elle se recouvre d'une croûte blanche de chaux et l'on perçoit une légère odeur d'acétylène.

Dans ces conditions, l'acétylure en poudre est complètement décomposé.

On peut soustraire ce corps à l'action de l'humidité en le conservant dans l'huile de naphte.

Action des acides et des corps composés. — Les acides agissent surtout lorsqu'ils sont étendus. Ainsi l'acide nitrique fumant attaque à peine l'acétylure de calcium à l'ébullition; mais l'acide très étendu fournit de l'acétylène.

L'acide sulfurique fumant ne donne qu'un dégagement assez lent et le gaz paraît s'absorber en grande partie; l'acide ordinaire agit beaucoup plus vivement et prend une odeur aldéhydique marquée.

Une solution étendue d'acide chlorhydrique ou iodhydrique dégage de l'acétylène pur. Au rouge vif, le gaz chlorhydrique sec provoque une incandescence marquée et met en liberté un mélange gazeux très riche en hydrogène.

Broyé avec du fluorure de plomb à la température ordinaire, l'acétylure de calcium devient incandescent.

Certains oxydants agissent avec une grande énergie. L'acide chromique fondu est porté à l'incandescence et dégage du gaz carbonique; la solution de cet acide ne donne que de l'acétylène. Le chlorate et le nitrate de potassium n'agissent qu'au rouge et donnent du carbonate de calcium, avec incandescence. Le bioxyde de plomb oxyde le carbure au rouge sombre, et le plomb réduit contient du calcium.

En chauffant l'acétylure de calcium, en tube scellé,

à 180° avec de l'alcool absolu, on a de l'acétylène et de l'éthylate de calcium.

$$C^2Ca + 2(C^2H^5.OH) = C^2H^2 + (C^2H^5.O)^2CA$$

Le gaz provenant de cette réaction est bien absorbé complètement par le chlorure cuivreux ammoniacal, mais il donne un acétylure noir, qui semble indiquer l'existence de carbures acétyléniques.

Composition du carbure de calcium. — Le carbure ou acétylure de calcium répond à la formule C^2Ca, ainsi que le montrent les analyses suivantes, dues à M. Moissan, à la suite desquelles nous plaçons les résultats correspondant à la formule théorique.

	1	2	3	4	Formule
Calcium. . . .	62,7	62,1	61,7	62,0	62,5
Carbone. . . .	37,3	37,8	»	»	37,5

Propriétés du carbure de baryum. — C'est le plus fusible des carbures alcalino-terreux. Sa densité est 3,75.

Le fluor donne un fluorure avec incandescence. Ce carbure est complètement décomposé par l'eau avec formation de baryte hydratée et dégagement d'acétylène pur. L'action des acides est la même qu'avec le carbure de calcium : celle des hydracides est assez énergique.

A une température voisine du ramollissement du verre, l'oxygène produit une vive incandescence ; il se forme de la baryte fondue. Le soufre agit de même un peu au-dessus de son point de fusion et donne du

sulfure de baryum et du sulfure de carbone. Il en est de même du sélénium.

L'azote n'agit pas à 1200°. La vapeur de phosphore au rouge sombre produit un phosphure avec une brillante incandescence. L'arsenic agit moins vivement et à une température plus élevée.

M. Moissan a trouvé la composition suivante, qui correspond bien à la formule C^2Ba :

	1	2	Formule
Baryum	85,30	85,10	85,00
Carbone.	15,10	14.87	15,00

Propriétés du carbure de strontium. — Sa densité est 3,19. L'action du fluor, de l'eau et des autres corps est la même que pour les deux précédents : celle du soufre se produit vers 500°. Il s'effrite aussi à l'air humide en se décomposant.

Sa composition correspond à la formule C^2Sr, comme le montrent les résultats suivants :

	1	2	Formule
Strontium.	77,96	78,32	78,47
Carbone.	21,55	21,41	21,53

Le tableau suivant donne les températures auxquelles les trois carbures deviennent incandescents dans les vapeurs des éléments halogènes ; ces températures ont été déterminées par M. Moissan à l'aide de la pince thermo-électrique et du thermomètre.

	Cl	Br	I
C^2Ca.	245°	350°	305°
C^2Ba.	140	130	122
C^2Sr.	197	174	182

Conclusions. — « En résumé, dit M. Moissan, les métaux alcalino-terreux, calcium, baryum et strontium, s'unissent avec facilité au carbone à la température du four électrique et produisent des carbures cristallisés. Ces corps sont immédiatement décomposables par l'eau froide, avec formation d'oxyde hydraté et dégagement d'acétylène pur. » La préparation, si facile, de ces carbures est déjà entrée dans la pratique industrielle, en ce qui concerne le carbure de calcium; peut-être amènera-t-elle quelques changements dans la fabrication de la baryte et de la strontiane, qui pourraient être obtenues facilement, ainsi que leurs sels, en partant des carbures correspondants.

Les carbures de ces trois métaux sont les seuls qui décomposent l'eau à froid, avec dégagement d'acétylène pur. Les métaux alcalins paraissent donner, à une température un peu moins élevée, des carbures non cristallisés, mal définis, ne dégageant qu'une petite quantité d'acétylène au contact de l'eau. Les carbures d'aluminium et de glucinium, sous l'influence de l'eau, fournissent du méthane pur. Ces résultats « sont aussi curieux par les applications que l'industrie pourra en tirer qu'au point de vue de la classification des différents corps simples. Les carbures, en effet, qui, autrefois, étaient regardés comme des composés mal définis, possèdent des propriétés nouvelles, si tranchées qu'elles apporteront un puissant appui à la classification des éléments par groupes naturels ».

Rôle géologique de ces carbures. — Ces carbures

présenteront peut-être aussi quelque intérêt pour le géologue.

M. Berthelot avait déjà signalé l'action de la vapeur d'eau sur les acétylures alcalins et alcalino-terreux comme pouvant expliquer la génération des carbures et des différentes matières charbonneuses.

« Il est vraisemblable que, dans les premières périodes géologiques, le charbon du règne végétal et du règne animal a existé sous forme de carbures. La grande quantité de calcium répandue à la surface du sol, sa diffusion dans tous les terrains de formation récente ou ancienne, la facilité de décomposition de son carbure dans l'eau peuvent laisser croire qu'il a joué un rôle dans cette immobilisation du carbone sous forme de composé métallique.... L'action de l'air sur ce carbure de calcium, produisant au rouge de l'acide carbonique, permettrait d'expliquer le passage du carbone d'un carbure solide à la forme gazeuse de l'acide carbonique, qui peut dès lors être assimilé par le règne végétal. » (Moissan.)

Il est donc possible que ces composés puissent jouer un rôle important dans les phénomènes géologiques et contribuer à la production brusque de ces volumes considérables de gaz, qui provoquent sans doute certains phénomènes volcaniques. On pourrait expliquer ainsi le dégagement continu de gaz carbonique qui s'échappe du granit aux environs de Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme) et la présence des composés carbonés, bitume, asphalte, etc., qui accompagnent les éruptions

volcaniques. L'action de l'eau sur le carbure d'uranium, qui donne de l'hydrogène, du méthane, de l'éthylène, des carbures liquides et solides, peut expliquer la formation de certaines sources de pétrole, l'action d'une haute température et d'une pression élevée ayant pu amener des phénomènes de saturation et de polymérisation.

CHAPITRE VIII.

PRIX DE REVIENT ET RENDEMENT DU CARBURE DE CALCIUM.

Importance du prix de revient. — Énergie absorbée par la production du carbure de calcium. — Éléments qui influent sur le prix de revient. — Évaluations diverses du prix de revient. — Expériences faites à l'usine de Spray : coût de l'usine, prix de l'énergie électrique ; dépense en matières premières ; coût de la main-d'œuvre ; prix de revient total. — Abaissements possibles du prix de revient. — Rendement du carbure de calcium.

Importance du prix de revient. — Le prix de revient du carbure de calcium présente un grand intérêt, car il influe évidemment sur celui de l'acétylène, duquel dépend, en grande partie, le développement des applications de ce gaz et en particulier de son emploi à l'éclairage.

Énergie absorbée par la production du carbure de calcium. — Il est difficile de calculer la quantité de chaleur et par suite l'énergie nécessaire pour la fabrication d'une quantité déterminée de carbure de calcium, car les chaleurs spécifiques de la chaux et du carbone ne sont pas connues jusqu'à la température de l'arc électrique. Pour cette dernière, nous avons

pris la valeur la plus forte, celle qui a été déterminée pour le graphite et le diamant aux températures les plus élevées, 1000° environ. Par suite de ces incertitudes, le calcul suivant, donné par plusieurs auteurs, ne peut être regardé que comme approximatif.

La réaction est représentée, comme nous l'avons vu, par la formule suivante :

$$\underset{56}{CaO} + \underset{36}{3C} = \underset{64}{C^2Ca} + \underset{28}{CO}$$

Les proportions qui précèdent permettent de calculer la quantité de chaleur qu'il est nécessaire de fournir. Cette quantité de chaleur se compose de :

1° Chaleur nécessaire ponr porter à 3500° (température de l'arc) 56 grammes de chaux

$$56 \times 0{,}20 \times 3\,500 = 39\,200 \text{ calories}$$

2° Chaleur nécessaire pour porter à 3500° 36 grammes de charbon

$$36 \times 0{,}46 \times 3\,500 = 57\,960 \text{ calories}$$

3° Décomposition de 56 grammes de chaux en 40 grammes de calcium et 16 grammes d'oxygène

132 000 calories

Le total est 229 160 calories, dont il faut retrancher :

La chaleur dégagée par la formation de 28 grammes d'oxyde de carbone, soit 28 800 calories.

D'un autre côté, le carbure de calcium étant endothermique, il faut ajouter :

La chaleur de formation de 64 grammes de carbure de calcium, ou 650 calories.

Il reste 201 010 calories, qui représentent approximativement la quantité de chaleur nécessaire pour préparer 64 grammes de carbure de calcium; pour 1 gramme, il faut 3 140 calories, et, pour 1 kilogramme, 3 140 grandes calories. L'équivalent mécanique de la calorie étant 425, il faut, pour produire 1 kilogramme de carbure, dépenser $3\,140 \times 425$ ou 1 331 430 kilogrammètres. D'un autre côté, 1 cheval-heure correspond à 75×60^2 ou 270 000 kilogrammètres; il faut donc 4,94 chevaux-heure ou 0,206 cheval-jour pour 1 kilogramme de carbure, et réciproquement 1 cheval-jour peut donner $\frac{1}{0,206}$ ou 4,856 kilogrammes de carbure de calcium.

Nous n'avons pas tenu compte des pertes de chaleur qui peuvent se produire ; cela nous paraît inutile dans un calcul aussi peu précis, et d'ailleurs les pertes par rayonnement, qui sont les plus importantes, sont à peu près négligeables. Si l'on admet que le rendement de l'installation électrique soit de 80 0/0, pour disposer dans le four de 0,206 cheval-jour, il faudra produire en réalité 0,258 cheval-jour, et l'on n'obtiendra pour 1 cheval-jour que 3 884 kilogrammes. Malgré les incertitudes que présentent les données de ce calcul, le résultat n'est pas très éloigné de la vérité, car on obtient environ 4 kilogrammes par cheval-jour.

Éléments qui influent sur le prix de revient.

— Pour établir pratiquement le prix de revient d'une tonne de carbure de calcium, il faut tenir compte des éléments suivants :

1° Prix de la force motrice, 258 chevaux-jour ou 6 178 chevaux-heure ;

2° Intérêt, amortissement et entretien des appareils mécaniques et électriques, y compris les fours ;

3° Prix de 950 kilogrammes de chaux pulvérisée ;

4° Prix de 600 kilogrammes de coke en poudre ;

5° Usure des électrodes ;

6° Main-d'œuvre et divers ;

7° Emballage et transport du carbure ;

8° Frais généraux, impôts, etc.

Il est bien difficile de calculer exactement ce prix de revient, car les frais généraux, les dépenses commerciales, etc., varient suivant les pays et le régime intérieur des sociétés ; la main-d'œuvre, le prix de la force motrice changent également suivant les régions ; le coût des matières premières peut même offrir des valeurs différentes et il n'est pas jusqu'à la proportion de ces matières qui n'ait besoin d'être fixée par l'expérience ; nous verrons plus loin qu'on prend souvent des quantités de chaux et de charbon différentes de celles que nous donnons plus haut et qui sont à peu près conformes à la formule théorique. C'est avec ces restrictions que nous donnerons les devis suivants.

Évaluations diverses du prix de revient. — M. Willson indique le prix de revient suivant, relatif à une tonne américaine :

Coke (679,5 kg.)	11,25
Chaux (906 kg.)	20,00
Force hydraulique	27,35
Électrodes	2,50
Salaires	27,50
Intérêt et amortissement	10,00
Divers	5.00
	103,60

En admettant 907 kilogrammes pour la tonne américaine, on trouve, pour le prix de 1 000 kilogrammes, une somme de 114 fr. 20.

M. Willson omet d'ajouter à ce calcul l'importance de la production, ce qui lui enlève beaucoup d'intérêt. Il indique seulement qu'on obtient 20 livres (9 060 grammes) par cheval et par 24 heures. Ce chiffre paraît beaucoup trop élevé. MM. Willson et Suckert pensent même qu'on pourrait arriver à 30 livres en évitant les pertes de chaleur et en alimentant les fours automatiquement; cet espoir nous paraît loin d'être réalisé.

Le docteur Suckert a donné aussi le calcul suivant, relatif à une production de 150 tonnes de carbure de calcium, dans une usine située près de dépôts importants de houille et de calcaire

Extraction de 270 tonnes de calcaire à 6f25. Transport de 270 tonnes de calcaire à 12f50.	5 062f50	
Broyage de 150 tonnes de chaux à 6f25.	937	50
Extraction de 200 tonnes de houille à 13f75.	2 750	»
Travail de fusion du carbure	3 750	»
	12 500	»

soit 83 fr. 35 par tonne. Ce calcul est trop vague pour

qu'on puisse le discuter, il n'indique pas le prix adopté pour la force motrice ; la *Revue des Sciences,* à qui nous l'empruntons, n'indique pas s'il s'agit de la tonne américaine ou de la tonne métrique. Si ces nombres se rapportent à la première, comme nous le pensons, le prix de la seconde serait de 92 francs environ. En tenant compte de la main-d'œuvre et des frais généraux, qui ne sont pas compris dans le tableau ci-dessus, le prix de la tonne serait un peu supérieur à 100 francs. Nous allons voir que ces évaluations sont trop optimistes et bien au-dessous de la vérité.

M. D. Korda a donné, dans la *Revue de Chimie industrielle,* le calcul suivant, qui se rapporte à une usine disposant de 2 000 chevaux hydro-électriques, et qui est « à peu près conforme à la pratique d'une installation existant en Europe ». On a supposé une production quotidienne de 8 tonnes, soit 4 kilogrammes par cheval-jour.

5 tonnes de charbon à 12f50	62f50
7 tonnes de chaux à 16f	112 »
Force motrice, à 75f le cheval par année de 300 jours.	500 »
Électrodes, à 10f par tonne de carbure	80 »
Réparations	400 »
Main-d'œuvre (75 ouvriers à 3f50, 25 à 5 fr., 6 chefs d'équipes à 6f25)	425 »
Emballage en barils (17f50 par tonne)	140 »
Frais généraux (100.000 fr. par an)	260 »
TOTAL	1 979f50

Le prix de la tonne serait donc de 247f45.

M. Raoul Pictet donne le devis suivant, pour une tonne de carbure :

Puissance électrique	82f02
600 kg. de poussier de coke à 17f20 la tonne.	10 32
950 kg. de chaux vive en poudre à 27f la tonne.	25 70
Frais de transformation du courant.	6 42
Réparations et dépenses des électrodes.	13 »
Préparation des matières.	29 »
Emballage.	4 »
Frais de bureau, intérêt des capitaux, assurance, etc.	30 »
	200f46

Expériences faites à l'usine de Spray. — Ces expériences, dont nous avons déjà parlé (page 29), nous fournissent des données très exactes sur le prix de revient du carbure de calcium, au moins en Amérique; nous allons donc indiquer en détail les résultats qu'elles ont fournis; il faut remarquer cependant que l'on n'avait pas cherché à réaliser absolument les conditions d'exploitation les plus avantageuses, l'usine ayant été construite elle-même à titre d'expérience; elle pouvait fournir par jour une tonne américaine ou 907 kilogrammes de carbure de calcium.

Coût de l'usine. — Pour la raison que nous venons d'indiquer, le prix réel de l'usine de Spray ne peut pas entrer dans le calcul; on peut admettre les nombres suivants :

Terrain.	500f
Bâtiments.	6 250
Turbine.	14 460
Installation électrique.	30 000
Transmissions.	1 000
Broyeurs et malaxeurs.	5 125
Cylindres mélangeurs.	1 190
Fours.	750
Outillage.	500
TOTAL.	59 775f

Le coût de l'usine s'élève donc à 60 000 francs environ. Si l'on estime l'amortissement à 5 0/0, on a une dépense qui s'élève par an à 2 988 fr. 70.

A ce chiffre, il faut ajouter les dépenses d'entretien et de réparations, ainsi que les impôts, ce qui donne :

Amortissement de l'usine, à 5 0/0 par an. . . .	2 988f 30
Entretien et dépréciation des turbines et de l'installation électrique, à 5 0/0.	2 223 »
Entretien des bâtiments, transmissions et appareils accessoires, à 6 0/0.	813 90
Entretien des fours, à 20 0/0.	150 »
Impôts.	500 »
TOTAL.	6 675, 60

Ce qui fait par jour une somme de 18 fr. 30.

Prix de l'énergie électrique. — L'énergie hydraulique, fournie par les turbines, est estimée à 25 francs le cheval-an : le rendement des alternateurs est de 88 0/0, celui des transformateurs de 95 0/0; le rendement de l'installation électrique est donc de 83,60 0/0, ce qui porte à 30 francs environ le prix du cheval-an électrique, aux bornes du four. Or la moyenne des deux expériences citées plus haut donne 4,176 kilogrammes de carbure brut par cheval-jour ; en adoptant ce nombre, il faudrait donc, pour une tonne de carbure, 239 chevaux-jour. En réalité, l'énergie fournie, en moyenne, par le courant primaire était de 203,2 chevaux ; celle qu'on empruntait aux turbines était donc de $\frac{203,2}{0,88}$ ou 230,90 chevaux-jour. Les transmissions, les broyeurs, malaxeurs et autres appareils accessoires absorbent

environ 15 chevaux, ce qui fait 245,9 chevaux-jour, coûtant $\frac{245{,}9 \times 25}{365}$ ou 16 fr. 85.

Dépense en matières premières. — Pour une tonne américaine de carbure de calcium, il a fallu dépenser en moyenne, à Spray, 1 211 kilogrammes de chaux et 1 020 kilogrammes de coke. La dépense en matières premières s'élève donc à

1 211 kg. de chaux à 34f 35 les 1,000 kg.	41f 60
1 020 de coke à 25f 10 —	25 60
Électrodes, à environ 0f 65 le kg.	4 30
Divers.	2 10
	73f 60

Coût de la main-d'œuvre. — La dépense quotidienne s'élève, de ce chef, à 55 francs, savoir :

1 contre-maître.	20f
3 équipes d'ouvriers, travaillant chacune 8 heures. . .	35
	55f

Prix de revient total. — En tenant compte de toutes les dépenses énumérées ci-dessus, le prix de revient d'une tonne américaine d'acétylure de calcium est de :

Intérêt et amortissement de l'usine et du matériel. .	18f 30
Force motrice.	16 85
Matières premières.	73 60
Main-d'œuvre.	55 »
TOTAL.	163f 75

La tonne américaine de carbure reviendrait donc, à Spray, à 163 fr. 75, ce qui donne, pour la tonne métrique, $\frac{163{,}75 \times 1\,000}{907} = 180$ fr. 55.

Il faut observer que, dans ce calcul, l'énergie hydraulique est estimée à 25 francs le cheval-an, prix

absolument inouïs en Europe : en Suisse, où les chutes d'eau ne manquent pas, on compte généralement 100 francs : en faisant cette modification, la dépense d'énergie s'élèverait par jour à $\frac{245,9 \times 100}{365}$ ou 67 fr. 40, ce qui porterait le prix de la tonne métrique de carbure à 231 fr. 10.

Abaissements possibles du prix de revient. — Tous les devis qui précèdent, qu'ils soient basés sur l'expérience, comme ceux de Spray, ou qu'ils reposent sur des calculs approximatifs, sont, en résumé, assez concordants, et donnent, pour le prix de revient de la tonne de carbure, en Europe, 200 à 250 francs, ce qui est bien le prix actuel. Rien ne fait prévoir, actuellement, qu'on puisse modifier la préparation de manière à abaisser sensiblement ce prix. Cependant quelques inventeurs croient possible d'obtenir une diminution par divers procédés.

Ainsi M. Pictet pense arriver, avec le nouveau four décrit plus haut, au prix de 82 francs, ce qu'il établit par le calcul suivant :

Courant électrique.	12 f »
700 kg. de charbon pulvérisé, à 12 f la tonne. . . .	8 40
1 000 kg. de chaux grasse.	25 »
Main-d'œuvre.	6 »
Intérêt, amortissement, frais généraux.	30 60
	82 f »

Nous ne pouvons que souhaiter de voir bientôt ce nouveau four fonctionner et donner les brillants résultats qu'en attend son auteur.

D'un autre côté, M. Wilkinson affirme qu'on pourrait obtenir l'acétylure de calcium, comme sous-produit de la fabrication électrolytique de l'aluminium, à un prix de 15 à 25 francs la tonne. Ce produit serait certainement impur; néanmoins un tel abaissement de prix exercerait une influence notable sur l'industrie de l'acétylène.

Enfin M. Borchers a proposé de fabriquer le carbure de calcium sans le secours de l'arc électrique ; le prix de revient se trouverait ainsi diminué, mais, comme il serait impossible d'atteindre une température assez élevée pour provoquer la fusion, on n'aurait qu'un produit très impur.

Rendement du carbure de calcium. — Un autre facteur qui influe encore notablement sur la dépense, c'est le rendement du carbure en acétylène et par conséquent sa pureté. Théoriquement, 1 kilogramme de carbure doit fournir, par son action sur l'eau, 406 grammes d'acétylène, soit un volume de 341 litres, mesuré à 0° et sous la pression de 760 millimètres. Un bon produit commercial doit donner 300 litres ; mais le rendement peut s'abaisser bien au-dessous de cette valeur pour ceux qui proviennent d'une fabrication peu soignée ou qui ont été soumis à des manipulations frauduleuses.

C'est ainsi qu'on trouve, paraît-il, dans certains échantillons, jusqu'à des fragments de barreaux de fer, attestant la fusion de la grille du four, ou même des morceaux de pyrite, dont l'origine est plus difficile à expliquer.

93723

D'ailleurs, ainsi que l'a fait remarquer l'*Industrie électrique,* le carbure de calcium n'est en réalité qu'un médiocre accumulateur d'énergie électrique et ne donne, au point de vue de l'éclairage, qu'un rendement assez faible.

Dans les conditions actuelles, on obtient environ 4 kilogrammes de carbure par cheval et par 24 heures, ou 1 kilogramme pour 4,416 kilowattheures.

Ce kilogramme de carbure peut donner en brûlant 300 litres d'acétylène, soit 40 carcels-heure, en admettant pour la consommation le chiffre moyen de 7,5 litres par carcel-heure. Or une lampe à incandescence de 1,71 carcel absorbe 80 watts, soit environ 46 watts par carcel. Donc, en utilisant 4,416 kilowatts dans des lampes à incandescence, on obtiendrait 96 carcels au lieu de 40, c'est-à-dire une quantité de lumière plus que double.

D'un autre côté, les fours à carbure de calcium peuvent utiliser les dynamos 24 heures par jour, et employer des forces hydrauliques peu coûteuses, tandis que, dans les usines électriques, les conditions sont beaucoup moins favorables. Au point de vue du transport, le carbure de calcium et l'acétylène liquide sont, pour un poids donné, les meilleurs accumulateurs de lumière ; la fabrication du carbure permet en outre d'augmenter le rendement des usines électriques ; c'est ce qui rend avantageux l'éclairage à l'acétylène, malgré son infériorité théorique sur l'incandescence électrique.

CHAPITRE IX.

PRÉPARATION DE L'ACÉTYLÈNE.

Modes de production de l'acétylène. — Synthèse de l'acétylène. — Préparation du chlorure cuivreux ammoniacal. — Préparation de l'acétylure cuivreux. — Préparation de l'acétylène par l'acétylure cuivreux. — Préparation par les carbures alcalino-terreux.

Modes de production de l'acétylène. — L'acétylène prend naissance dans un grand nombre de circonstances. Tout d'abord, il peut être obtenu par synthèse, en combinant l'hydrogène et le charbon, sous l'influence de l'arc électrique. Il se forme encore dans beaucoup de réactions, comme la décomposition, au rouge, d'un grand nombre de matières organiques volatiles, formène, éthylène, alcool, éther, esprit de bois, aldéhyde, acétone, corps gras, etc., ou l'action des étincelles électriques sur les gaz carbonés et autres composés organiques, amenés à l'état gazeux, seuls ou mélangés d'hydrogène. De même, il se produit aussi dans la combustion incomplète de la plupart des composés organiques.

Synthèse de l'acétylène. — M. Berthelot a réalisé, en 1862, la synthèse de l'acétylène sous l'influence de l'arc voltaïque. Un rapide courant d'hydrogène tra-

verse le flacon laveur L et pénètre dans l'œuf *a b* (fig. 15 et 16), où se trouvent deux crayons de charbon *c t*, reliés par les conducteurs *m* et *p* aux deux bornes d'une source d'électricité de force électromotrice suffisante. Lorsque l'air est complètement chassé, on écarte les charbons, amenés préalablement au contact, et l'on fait jaillir l'arc voltaïque. Le gaz qui s'échappe

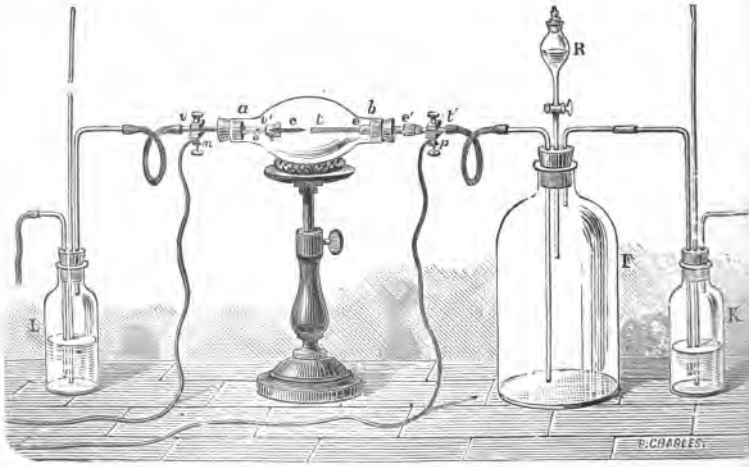


Fig. 15. — Synthèse de l'acétylène.

à travers le flacon K, renfermant une solution de chlorure cuivreux dans l'ammoniaque, y produit un précipité rouge, appelé acétylure cuivreux, qui caractérise la présence de l'acétylène. La même réaction peut être obtenue dans le flacon F, en faisant écouler la solution de chlorure cuivreux ammoniacal placée dans entonnoir à robinet R.

Préparation du chlorure cuivreux ammoniacal. — Nous avons dit plus haut que l'acétylène prend naissance dans une foule de réactions ; mais il est généralement dilué dans un certain nombre d'autres produits. Pour l'extraire commodément, on le fait absorber par une dissolution de chlorure cuivreux ammoniacal, d'où on le retire ensuite facilement. Cette solution se prépare de la manière suivante :

On fait bouillir, dans un ballon de verre, de la tournure de cuivre avec de l'acide chlorhydrique concentré, auquel on ajoute de temps en temps un peu d'acide nitrique, pour faciliter la dissolution du métal. Le

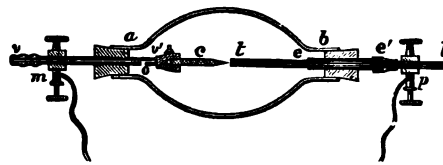


Fig. 16. — Détail de l'œuf électrique.

cuivre doit être en excès : une partie se transforme en chlorure cuivrique, que le reste réduit à l'état de chlorure cuivreux Cu^2Cl^2. Il faut qu'on ait à la fin un excès de métal et d'acide chlorhydrique, sans acide azotique. On obtient une dissolution du chlorure dans l'acide chlorhydrique : la liqueur est légèrement colorée en brun. En versant ce liquide dans un excès d'eau, on sépare le chlorure sous la forme d'une poudre blanche, cristallisée, insoluble. Il suffit de recueillir ce corps et de le dissoudre dans l'ammoniaque. La

dissolution prend une belle coloration bleue sous l'influence de l'air : elle dissout l'acétylène et l'oxyde de carbone.

Préparation de l'acétylure cuivreux. — L'acétylène impur peut s'obtenir dans un grand nombre de réactions : en faisant passer ce gaz dans la dissolution de chlorure cuivreux ammoniacal, on produit l'acétylure cuivreux, dont on peut ensuite extraire le gaz.

Bœttger, puis Quet, préparèrent ce corps en faisant passer, dans une solution de chlorure cuivreux ammoniacal, le premier du gaz d'éclairage, le second les produits de la décomposition de l'alcool par la chaleur ou par les étincelles électriques. En remplaçant le sel de cuivre par un sel d'argent, on obtient de même l'acétylure d'argent.

On peut utiliser, pour préparer l'acétylure cuivreux, les réactions suivantes, qui donnent une petite quantité d'acétylène :

Décomposition de l'éther méthylchlorhydrique dans un tube de porcelaine chauffé au-dessous du rouge sombre.

Action de l'oxyde de carbone sur l'acide chlorhydrique, en présence du siliciure de potassium au rouge.

Action de l'eau sur le produit obtenu en attaquant le potassium par l'oxyde de carbone.

Action de l'iode sur l'acétate d'argent (Birnbaum).

Action de la potasse sur l'éthylénodisulfite ou l'iséthionate de potassium.

·dant on se sert plus fréquemment du gaz

d'éclairage ou des combustions incomplètes. Le gaz de houille, produit par l'action de la chaleur, contient une certaine quantité d'acétylène, qu'on peut recueillir en le faisant barboter dans le chlorure cuivreux ammoniacal.

On peut avoir une petite quantité d'acétylène en faisant brûler de l'éther au fond d'une éprouvette où

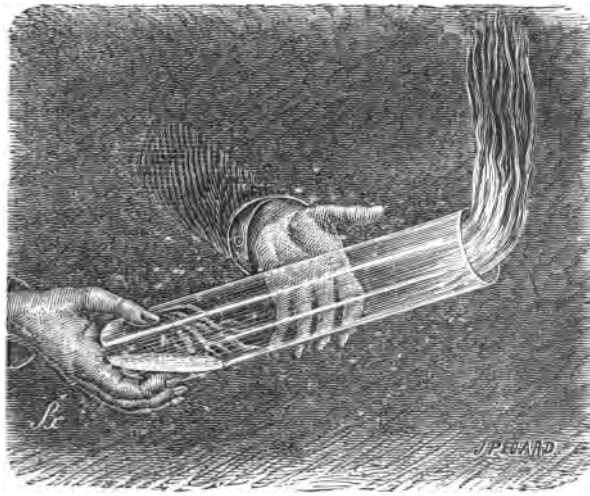


Fig. 17. — Combustion incomplète de l'éther.

l'on a versé d'abord un peu de la solution cuivreuse (fig. 17) : l'air arrivant difficilement jusqu'au fond du vase, la combustion est incomplète; en inclinant et tournant lentement l'éprouvette, les parois se recouvrent d'acétylure cuivreux.

Le plus souvent, on utilise la combustion incom-

plète du gaz d'éclairage : l'appareil de M. Jungfleisch est destiné à cet usage. On fait brûler le gaz dans une

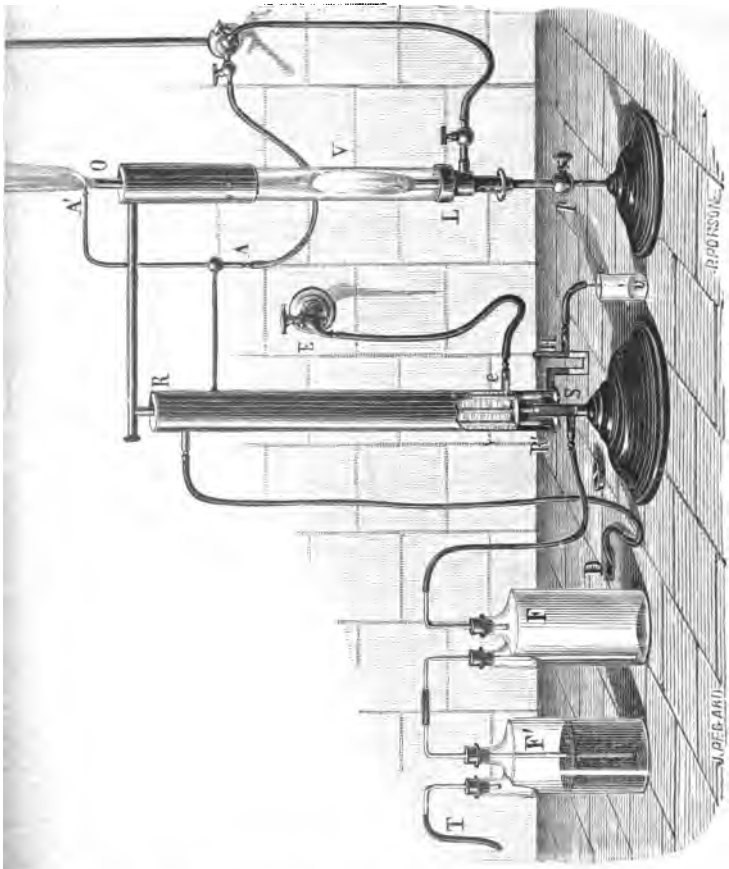


Fig. 18. — Appareil de M. Jungfleisch pour la préparation de l'acétylène.

lampe spéciale L (fig. 18 et 19), où l'admission de l'air est réglée de telle sorte qu'il ne reste pas, à la sortie,

d'oxygène mélangé avec les produits de la combustion. Ceux-ci, sous l'influence d'un aspirateur placé en T, à l'extrémité de l'appareil, traversent un réfrigérant RR', où se condense la vapeur d'eau, puis les flacons FF', contenant la solution cuivreuse. En réglant convenablement l'aspirateur, l'opération marche régulièrement et n'exige presque aucune surveillance. Lorsque l'aspirateur ne fonctionne pas, les gaz s'échappent par l'ouverture O et s'allument au contact d'un petit bec de gaz A'[1].

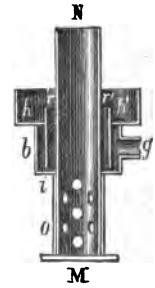


FIG. 19. — Détail du brûleur.

La composition de l'acétylure cuivreux est encore mal connue ; on la représente par diverses formules.

$C^2H\text{-}Cu^2Cl$; $C^2H^2.Cu^2O$; $C^2HCu.OH$; $(C^2HCu)^2O$

Préparation de l'acétylène par l'acétylure cuivreux. — Jusqu'à ces dernières années, on extrayait toujours l'acétylène de l'acétylure cuivreux, préparé par l'une des méthodes précédentes, et le plus souvent avec l'appareil de M. Jungfleisch.

L'acétylure est lavé par décantation, puis introduit, encore humide, dans un petit ballon de verre, avec la moitié de son volume d'acide chlorhydrique (fig. 20). On chauffe graduellement jusqu'à l'ébullition, et l'acétylène est régénéré. La réaction peut être représentée par l'une des formules suivantes, selon la composition admise pour l'acétylure.

1. Jungfleisch, *Manipulations de chimie*, 2e édition.

$$C^2H—Cu^2Cl + HCl = C^2H^2 + Cu^2Cl^2$$
$$C^2H^2,Cu^2O + 2HCl = C^2H^2 + Cu^2Cl^2 + H^2O$$
$$C^2HCu.OH + 2HCl = C^2H^2 + CuCl^2 + H^2O$$

On recueille le gaz sur l'eau ou sur le mercure, et on le purifie en l'agitant avec un peu de potasse caustique.

Préparation par les carbures alcalino-terreux. — C'est en traitant par l'eau un carbure ou acétylure de potassium impur qu'Ed. Davy a découvert l'acétylène. Des réactions analogues ont été obtenues depuis

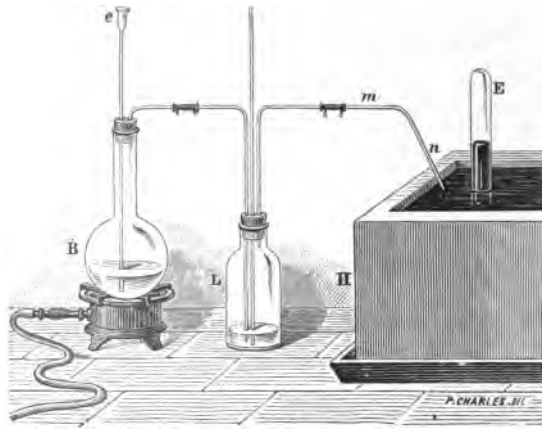


Fig. 20. — Préparation de l'acétylène.

par Wöhler, Winkler, MM. Maquenne et Travers. Mais c'est seulement depuis que M. Moissan a préparé au four électrique les carbures alcalino-terreux que cette préparation est devenue pratique; elle est si simple qu'elle a permis de songer à appliquer l'acétylène aux usages industriels, ce qui était impossible auparavant.

C'est le carbure de calcium qui est seul employé à cette préparation : il suffit de jeter dans l'eau des fragments de ce corps.

$$C^2Ca + H^2O = C^2H^2 + CaO$$

Dans les laboratoires, on peut se servir d'un flacon à deux tubulures, presque entièrement rempli d'eau, et jeter le carbure par un large tube, fixé dans la tubulure centrale ; le gaz se dégagera par un tube placé sur l'autre tubulure. On pourrait, au contraire, mettre d'avance le carbure dans le flacon et verser l'eau peu à peu.

Mais l'importance du rôle auquel est appelé l'acétylène a déjà fait créer un grand nombre d'appareils destinés à sa préparation ; quelques-uns sont de simples appareils de démonstration ; la plupart sont réservés aux usages industriels ; nous allons les décrire dans les chapitres suivants.

CHAPITRE X.

CLASSIFICATION DES APPAREILS A ACÉTYLÈNE.

Division des appareils à acétylène. — Échauffement et surproduction. — Appareils de démonstration.

Division des appareils à Acétylène. — Nombreux sont les appareils imaginés pour la fabrication de l'acétylène. Sans parler pour le moment de ceux qui servent à la fois pour la préparation et l'utilisation du gaz, c'est-à-dire des *lampes portatives*, on peut partager les générateurs proprement dits en deux classes, suivant qu'ils produisent l'acétylène sous la forme gazeuse ou sous l'état liquide. Les premiers peuvent à leur tour se subdiviser en deux groupes : les uns donnent le gaz sous une pression peu supérieure à celle de l'atmosphère, les autres le fournissent comprimé plus ou moins fortement. Cette classification n'est du reste pas très rigoureuse.

Parmi les appareils du premier groupe, un grand nombre sont fondés sur le principe bien connu du briquet à hydrogène. Dans d'autres modèles, l'alimentation d'eau ou de carbure est proportionnelle à la quantité de gaz dégagée : la manœuvre est souvent

produite par un robinet que commandent les mouvements de la cloche du gazomètre.

Échauffement et surproduction. — Dans les appareils producteurs d'acétylène, on peut faire arriver l'eau sur le carbure ou, au contraire, précipiter le carbure dans l'eau. La seconde méthode est bien préférable, car la première expose à divers inconvénients résultant de l'échauffement et de la surproduction.

En effet, lorsque l'eau arrive sur un excès de carbure, il se produit, au point de contact, une élévation locale de température, qui peut être d'autant plus considérable que certains morceaux se laissent attaquer plus facilement que d'autres. En outre, la chaux formée entoure chaque fragment d'une croûte dure, qui protège d'abord l'intérieur, puis se brise subitement, et le noyau est attaqué brusquement avec un grand dégagement de chaleur. L'action est donc très irrégulière, et l'échauffement ainsi produit peut amener divers inconvénients : augmentation anormale de la pression, formation d'hydrocarbures plus condensés, benzine, styrol, etc., qui diminuent le pouvoir éclairant, et production de diverses impuretés. Si l'élévation de température était trop considérable, elle pourrait même, lorsque le gaz se produit sous pression, provoquer une explosion.

Lorsqu'on laisse, au contraire, tomber le carbure dans une grande masse d'eau, celle-ci agit comme réfrigérant et dissout les impuretés ; elle délite la chaux, et l'attaque est régulière.

La surproduction se manifeste surtout lorsque, après la suppression du contact, le carbure reste entouré d'air humide, qui continue à l'attaquer lentement. Le gaz en excès produit une augmentation de pression ou s'échappe du gazomètre et peut alors causer des accidents.

Elle peut résulter aussi de l'échauffement. M. Lewes a remarqué, en effet, que, si la chaux formée pendant la préparation s'échauffe jusqu'à 50° environ, elle absorbe à peu près deux fois son poids d'eau, et laisse échapper ensuite, en se refroidissant, une grande partie de ce liquide sous forme de vapeur, qui attaque le carbure. C'est encore une raison pour éviter l'échauffement de ce produit.

Pour remédier à ces inconvénients, divers systèmes ont été essayés. Certains inventeurs divisent le carbure en couches minces, qu'ils séparent par des couches d'air ou des lames de verre ou de métal. D'autres le placent dans des compartiments séparés, contenant chacun la provision nécessaire pour remplir une fois le gazomètre, et font arriver l'eau successivement dans chacun de ces casiers. D'autres encore imprègnent le carbure d'une matière sans action sur l'eau, telle que sucre, paraffine, huile, etc., afin de ralentir ou de régulariser l'attaque. On obtient le même résultat plus simplement en additionnant l'eau d'un liquide incapable d'agir sur le carbure, comme les alcools méthylique ou amylique, l'éther, la glycérine, l'acétone, etc. Nous trouvons ces dispositions appliquées dans les appareils que nous allons décrire.

Appareils de démonstration. — Le petit appareil de M. Giovanni Fiumi (fig. 21) n'a d'autre prétention que de servir à montrer la flamme de l'acétylène, pour des expériences de démonstration[1]. C'est une éprouvette de verre A, fermée par un bouchon de caoutchouc à deux trous: l'un de ces trous reçoit un tube à dégagement C*r*, l'autre un entonnoir B à robinet *m* et, au-dessous, un tube en tôle *a*, muni de quatre plateaux perforés. Chacun de ces plateaux peut recevoir environ 10 grammes de carbure de calcium. L'eau est placée en B; sa vitesse d'écoulement se règle avec le robinet *m;* le gaz laisse son humidité dans la boule C, remplie d'ouate, et peut être emflammé à l'extrémité *r* du tube. Quant on ferme le robinet *n*, la pression du gaz refoule l'eau dans le tube *a* et l'entonnoir B; c'est le principe du briquet à hydrogène.

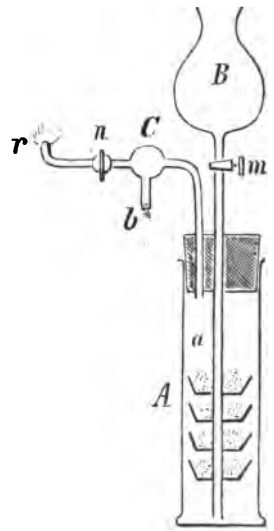


Fig. 21. — Appareil Giovanni Fiumi.

Il faut avoir bien soin d'expulser l'air avant d'allumer le jet gazeux. L'orifice *b* peut recevoir un tube de

1. *Chemiker Zeitung*, 1896, n° 38 et Poulenc, *Nouveautés chimiques*, p. 29.

sûreté, qui offre un dégagement au gaz provenant de la surproduction.

Nous placerons ici, bien qu'il fournisse une plus grande quantité de gaz, l'appareil de MM. Leybold[1], car il ne rentre exactement dans aucune des classes d'appareils que nous étudierons ensuite. Le récipient O

Fig. 22. — Appareil à produire l'acétylène de MM. Leybold.

étant dévissé, on le remplit d'eau et on introduit le carbure en B (fig. 22); l'appareil étant reconstitué, ces deux pièces communiquent par les deux robinets *b* et *c*, le dernier servant à égaliser la pression. Pour faire fonctionner le générateur, on ouvre ces deux robinets

1. *Chemiker Zeitung*, nº 81, p. 1834 et Poulenc, *Nouveautés chimiques*.

avec précaution, afin de faire tomber l'eau goutte à goutte sur le carbure; le gaz traverse l'éprouvette à dessécher *f* et se rend au brûleur. Quand on ferme le robinet *e*, si la pression est trop forte, le gaz s'échappe par le tube *d*, qu'on fait plonger dans le mercure d'une longueur plus ou moins considérable.

Le récipient B peut recevoir 100 grammes de carbure de calcium; on peut donc, avec un produit de bonne qualité, recueillir environ 30 litres de gaz.

CHAPITRE XI.

GÉNÉRATEURS FONDÉS SUR LE PRINCIPE DU BRIQUET A HYDROGÈNE.

Appareil Trouvé. — Appareil Dickerson. — Appareil « at home ». — Appareil Létang-Serpollet. — Appareil Holliday. — Appareil Gillet et Forest. — Appareil Deroy. — Appareil Prévost. — Appareil Türr.

Appareil Trouvé. — Cet appareil est extrêmement simple ; sa disposition est absolument celle du briquet à hydrogène. Le gazogène (fig. 23) se compose de deux vases concentriques : le récipient extérieur, librement ouvert, contient de l'eau ; le vase intérieur communique avec le premier par un orifice inférieur et avec le gazomètre par un tuyau à robinet partant de son couvercle ; il contient un panier grillagé rempli de carbure de calcium. Quand le robinet est ouvert, l'eau, s'élevant au même niveau dans les deux récipients, attaque le carbure, et l'acétylène se rend dans le gazomètre. Lorsque le robinet est fermé, le gaz refoule l'eau jusqu'à ce qu'elle cesse d'être en contact avec le carbure. M. Trouvé a cherché à éviter la surproduction en disposant le carbure par couches distinctes, séparées par des rondelles de verre. En

outre, une sonnerie électrique avertit lorsque la cloche est complètement remplie ou presque vide.

Fig. 23. — Appareil Trouvé.

L'appareil représenté comporte deux gazogènes : on peut ainsi recharger l'un tandis que l'autre est en service.

Appareil Dickerson. — M. Dickerson a fait breveter plusieurs appareils, dont l'un est fondé sur le principe du briquet; mais le robinet est manœuvré automatiquement par la cloche du gazomètre. L'eau, placée dans un réservoir élevé A (fig. 24), se rend, par le tuyau B, dans le gazogène D, où elle attaque le carbure de calcium C, disposé sur une grille O. Le gaz traverse un robinet d'arrêt *e*, muni d'un contrepoids *d*, le tuyau W, le robinet Z et le régulateur automatique G, et se rend

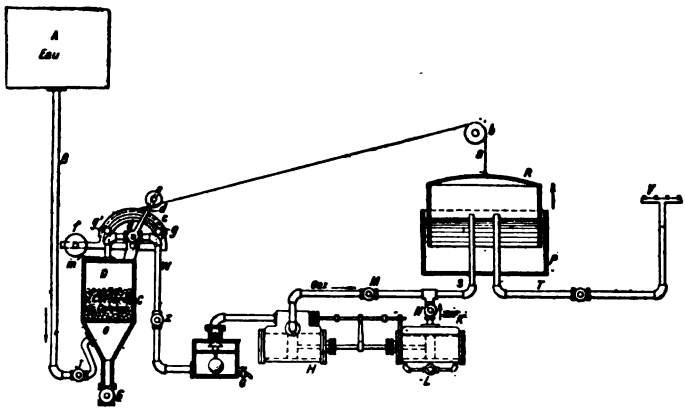


Fig. 24 — Appareil à Acétylène de M. Dickerson.

au gazomètre R. Lorsque la cloche est remplie, la chaîne *a*, passant sur la poulie *b*, n'est plus tendue; le contrepoids *f* entraîne le secteur *c* vers la gauche, et la broche *g*, rencontrant le levier *d*, ferme le robinet *e*. La pression du gaz refoule alors le liquide en A. Quand le gazomètre descend, la chaîne *a* ramène peu

à peu le secteur vers la droite, et la broche *g'*, poussant le levier *d*, ouvre le robinet *e*.

Le chargement du gazogène se fait par *m*, la vidange par E ; le tuyau T conduit le gaz aux brûleurs V.

Cet appareil se distingue surtout par un dispositif servant à préparer et à introduire dans le gazomètre un mélange d'air et d'acétylène. Dans ce cas, on intercale, entre le régulateur G et le gazomètre, un cylindre H, dont le piston, actionné par l'acétylène, commande une pompe à air K.

Appareil « At Home ». — Cet appareil, construit par la Société du Gaz Acétylène, comprend un gazomètre et un gazogène. Ce dernier se compose de deux récipients concentriques ; le plus grand est rempli d'eau jusqu'à un niveau marqué. Le vase intérieur est, comme le précédent, en tôle galvanisée. Dans le modèle primitif, ce dernier récipient contenait un panier unique, rempli de carbure de calcium. L'eau pénétrait par des trous pratiqués à la base, s'élevait dans un tube central et se déversait sur le carbure. Le gaz, se réunissant au sommet du récipient, va s'accumuler dans le gazomètre. Lorsque la pression dans celui-ci atteint environ 15 centimètres d'eau, le liquide se trouve refoulé dans le tube central et cesse de se déverser sur le carbure.

Cet appareil a été modifié récemment, pour permettre de fractionner la charge de carbure et de régler l'action de l'eau. Le récipient extérieur (fig. 25), rempli d'eau, qui sert tout ensemble à attaquer le

carbure et à empêcher l'échauffement, est porté par un socle en fonte d'acier. Le récipient intérieur est fermé par un couvercle, muni d'un joint épais en caoutchouc, fixé à demeure, et maintenu par des boulons à rabattement munis d'écrous à oreilles ; à l'intérieur se trouvent une série de godets, remplis de

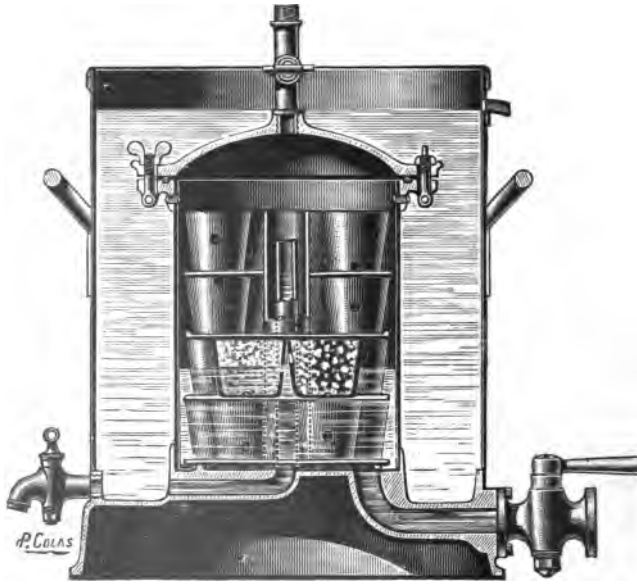


Fig. 25. — Nouveau gazogène de l'appareil « At Home »

carbure, et reposant sur des plateaux horizontaux : un fourreau rend solidaires tous les plateaux et permet de les enlever simultanément, ainsi que les godets. Un tuyau central communique avec la bâche extérieure. L'eau s'y élève, d'après le principe des vases communiquants,

et coule le long du tube jusqu'à la partie inférieure du récipient. Chaque godet est percé d'un trou pour l'entrée de l'eau : ces orifices sont disposés en spirale, de façon que l'eau, à mesure qu'elle s'élève, pénètre successivement dans tous les godets. La hauteur du tuyau central est réglée de telle sorte que l'eau cesse

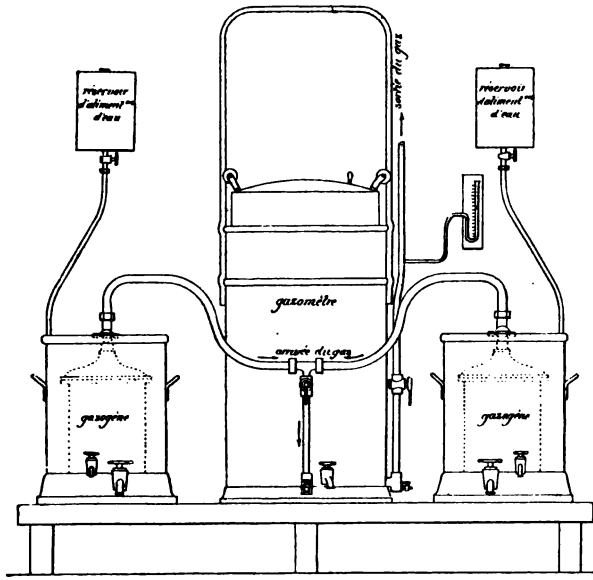


Fig. 26. — Appareil « At Home ».

d'entrer dans l'appareil et se maintient à un centimètre au-dessous de l'orifice de déversement, aussitôt que la cloche du gazomètre commence à se soulever.

L'acétylène se rend au gazomètre par le tuyau supérieur. L'appareil porte en outre un trop-plein et

des robinets de vidange. La provision de carbure contenue dans chaque godet est inférieure à la quantité qui serait nécessaire pour remplir complètement la cloche.

Le gazomètre (fig. 26) est à pression constante. Il se compose d'une cloche reposant sur une cuve en tôle galvanisée. La cloche est lestée à la partie inférieure par un cercle de métal, afin de donner au gaz une pression convenable. La figure montre bien la disposition des diverses parties de l'appareil.

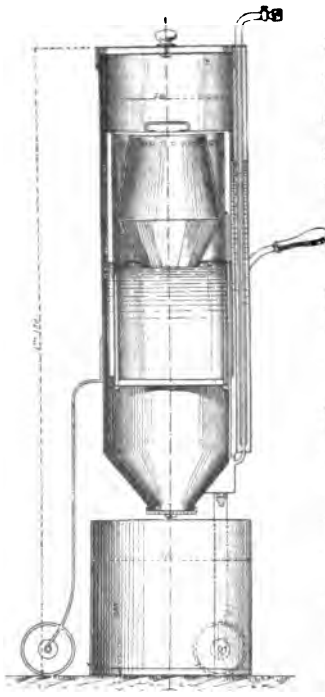


Fig. 27. — Appareil Létang et Serpollet.

Appareil Létang-Serpollet. — Le réservoir extérieur, cylindro-conique, est fermé à la partie inférieure par un large bouchon à vis (fig. 27); il est porté par trois supports à roulettes et assez élevé pour qu'on puisse placer au-dessous de lui un seau destiné à recevoir les résidus, lorsqu'on recharge l'appareil. A l'intérieur se trouve une cloche, qui peut monter et descendre librement et qui renferme le panier de carbure. La mobilité de cette cloche remédie aux brusques changements de

pression qui peuvent se produire dans les appareils de ce genre. Le gaz se dégage par un tube en V, à branches inégales, au bas duquel se trouve un réservoir faisant fonction de purgeur. La chaux s'écoule à travers les mailles du panier. On peut remédier à la surproduction en employant, comme dans la lampe portative des mêmes inventeurs, que nous décrivons plus loin, du carbure réduit en petits morceaux et intimement mélangé avec de la glucose. Les sucres ont l'avantage de se combiner avec la chaux pour former des sels solubles, ce qui évite l'attaque ultérieure du carbure par l'eau emmagasinée dans la chaux.

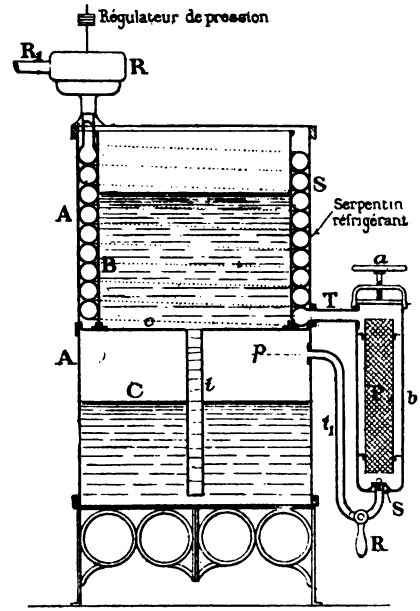


FIG. 28. — Appareil Holliday.

Appareil Holliday. — Il n'y a pas de gazomètre. Le carbure de calcium se place dans un panier P (fig. 28) ; l'eau est contenue dans un réservoir A, divisé en deux parties par une cloison horizontale C ; ces deux parties BC communiquent par un tube vertical *t*.

Quand on verse l'eau en B, on ouvre le robinet R_1 ; le liquide coule en C et chasse l'air par t_1 T, le serpentin S et le régulateur R; l'eau arrive ainsi au niveau *p* et, une petite quantité de liquide venant attaquer le carbure, l'acétylène produit achève de purger l'appareil. Si on laisse les robinets ouverts, le gaz continue à se produire et se dégage par R_1, d'où il se rend directement à la canalisation après avoir traversé le régulateur de pression R; on peut cependant, si on le préfère, le recueillir dans un gazomètre.

Si l'on ferme R_1, la pression refoule l'eau en C; si la vapeur continue à attaquer le carbure, le gaz se dégage aussi en C, où il se trouve d'ailleurs mélangé d'un peu d'air. On évite ainsi les inconvénients de la surproduction. Les produits condensés résultant de l'échauffement se déposent dans le serpentin, refroïdi par le voisinage de la masse d'eau B.

Appareil Gillet et Forest. — Comme dans l'appareil précédent, l'eau est contenue dans deux cylindres superposés RS, réunis par un tube vertical F (fig. 29). Le gazogène G, fermé par un tampon à vis A, renferme un panier *p* de carbure de calcium ; l'eau s'y rend par le tube *c*, muni d'ajutages; le gaz se dégage par le tube C, s'accumule en S à la partie supérieure, afin de régulariser la pression, et s'écoule dans la canalisation à travers un épurateur. Lorsque la production est trop abondante, la pression augmente en S et refoule l'eau en R. La surproduction et l'échauffement sont faibles, l'eau arrivant sur le carbure par petites quantités.

Appareil Deroy. — Les robinets sont remplacés presque complètement par des joints hydrauliques. Le nombre des générateurs est variable ; le modèle

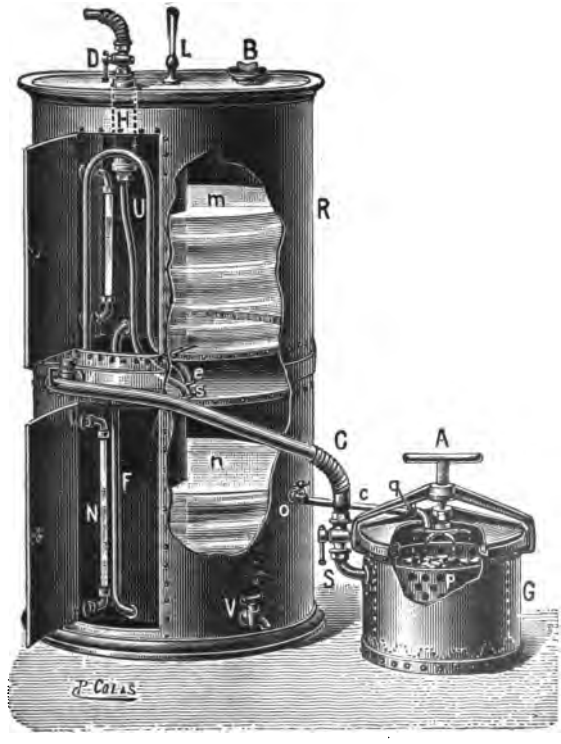


Fig. 29. — Appareil Gillet et Forest.

(fig. 30) en possède deux. Ces générateurs communiquent automatiquement entre eux et contiennent le carbure réparti en couches séparées, que l'eau attaque et épuise successivement.

A la mise en marche, l'eau est dirigée par le robinet à cadran 6 sur le générateur I. Dès que l'attaque est faite et que le gaz se dégage, l'eau cesse automatiquement d'être introduite et reprend de même pour fournir à la consommation quelle qu'elle soit. L'attaque du carbure se fait progressivement, sans à-coup, au fur et à mesure de la consommation du gaz. L'eau atteint l'une après l'autre les diverses couches, en partant du bas, jusqu'à l'épuisement complet de la charge.

Lorsque le carbure du générateur I est épuisé, l'eau gagne par le tube 7 le générateur 2, qui entre alors en fonction, sans que pour cela on ait à interrompre ni la consommation ni la production, et sans qu'il y ait aucun robinet à ouvrir ou à fermer.

Les charges peuvent être calculées pour durer un certain nombre d'heures ou de jours. On a donc tout loisir d'effectuer, quand il convient, la recharge du générateur épuisé; il suffit de l'isoler au moment de cette opération, en détournant l'arrivée d'eau, et ensuite de renouveler le carbure.

La disposition des charges de carbure est indiquée sur la figure 31, qui montre un panier de charge fermé, prêt à être introduit dans un des générateurs.

A la sortie des éléments, le gaz gagne l'épurateur-dessiccateur 3, par les nourrices 4 et 5 et les tubes 8 et 9, et s'y purifie avant d'être employé.

L'eau contenue dans le laveur-dessiccateur 3, dont le niveau est réglé par la saillie intérieure du tube II, remplit un double but, car, outre son rôle d'épuration,

elle fait fonction d'obturateur et tient lieu de fermeture, quand l'un ou l'autre des générateurs 1 et 2 ou tous deux sont inactifs.

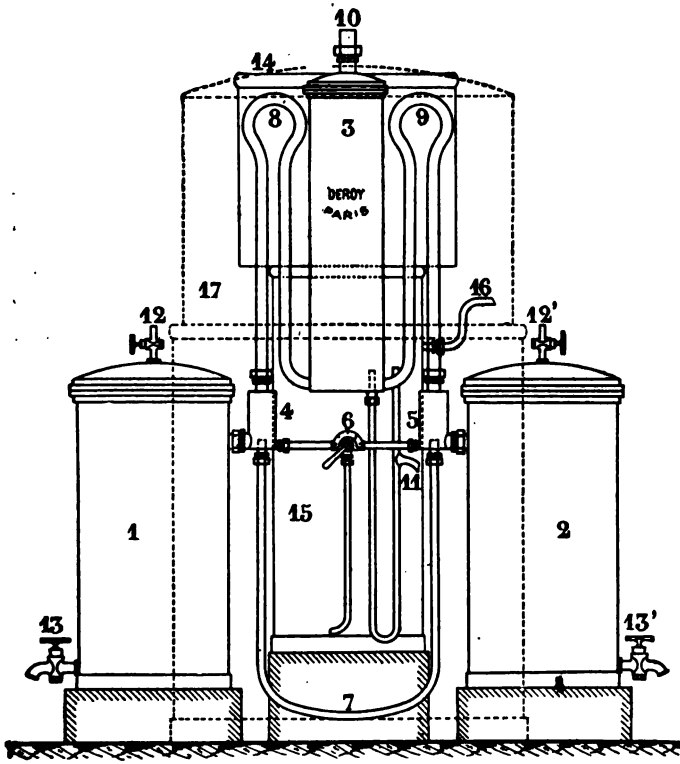


Fig. 30. — Appareil Deroy fils aîné.

L'arrivée automatique de l'eau sur le carbure est réglée par la pression de l'eau à niveau constant du réservoir 15, laquelle pression est en équilibre avec

celle du gaz dans le gazomètre 17 lorsque la cloche se trouve presque vide; à ce point le plus bas, l'alimentation s'opère; mais, dès que la cloche se soulève, elle se surcharge d'un poids suspendu au-dessus, qui déséquilibre la pression et fait cesser l'alimentation, en sorte que la production ne s'effectue que suivant les besoins de l'éclairage, au fur et à mesure de la consommation, la cloche restant en bas. C'est seulement à l'extinction que la cloche s'élève quelque peu et emmagasine la petite quantité de gaz produit par la partie de carbure déjà humidifiée quand on arrête l'éclairage.

Le gazomètre, qui n'est en somme qu'un régulateur de pression, a une capacité calculée pour recevoir le double du gaz que pourrait fournir le contenu d'une case de carbure, de sorte qu'en admettant même que cette case vienne d'être attaquée au moment où l'on cesse toute consommation et que son épuisement complet ait lieu après, le gazomètre ne s'emplirait qu'à moitié de sa capacité. Cette réserve est utilisée lorsqu'on recommence l'éclairage, et la production ne reprend que lorsqu'elle est épuisée, c'est-à-dire lorsque la cloche est à peu près vide.

Les joints hydrauliques des tubes 8 et 9 de sortie du gaz des générateurs 1 et 2 sont formés par l'eau du laveur 3, s'élevant dans les tubes sous l'influence de la pression du gazomètre lorsque les générateurs ne fonctionnent pas; cette eau est refoulée dans le laveur par la pression inverse lorsque l'un ou l'autre des générateurs fonctionne.

L'eau contenue dans le tube de communication 7 établit le joint hydraulique entre les deux générateurs.

Le tube siphoïde II, tout en permettant l'écoulement des condensations du laveur, forme joint hydraulique à la pression du gaz et tient ainsi lieu d'organe de sûreté pour parer à toute éventualité.

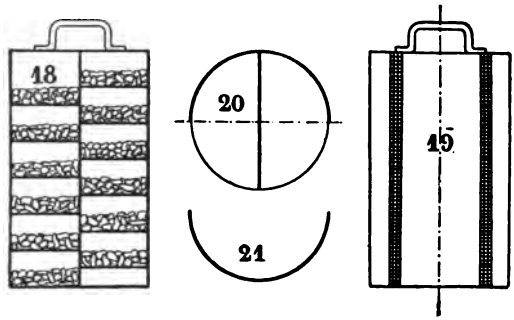


Fig. 31. — Détail du panier à carbure.

Appareil Prevost. — Cet appareil est encore fondé sur le principe du briquet ; mais d'ingénieuses dispositions suppriment presque complètement les inconvénients de la surproduction et de l'échauffement.

Le carbure de calcium, concassé, reçoit la forme d'une bougie, qui repose sur le croisillon *f*, dans un cylindre B*b*, dont la partie supérieure G est plus étroite (fig. 32) ; cette bougie est recouverte, sauf sur la partie qui touche le croisillon, d'un enduit qui la protège contre l'action de l'humidité. La cloche B*b* est fixée, par des croisillons *d*, sur le récipient A, qui contient l'eau. Normalement, l'acétylène se rend au ga-

zomètre *q* par le robinet *i*, le condenseur réfrigérant *k* et le tube *p*. Ce tube est muni d'un robinet de réglage *r*, dont la clef *s* porte un galet en contact avec le couvercle de la cloche *q*.

Supposons que l'ascension de la cloche ferme le robinet *r* : si le gaz continue à se produire, la pression

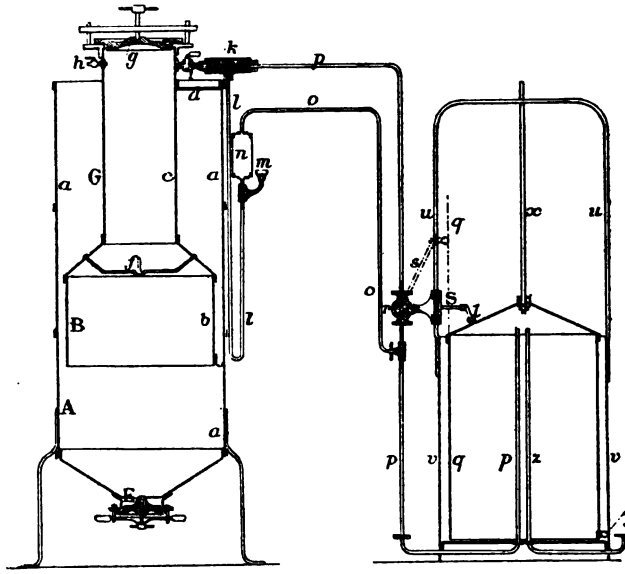


Fig. 32. — Appareil Prevost.

augmente; elle agit sur l'eau qui remplit la courbure du tube de sûreté *l n o* et la refoule complètement dans la branche de droite ; le gaz se dégage alors à travers la colonne de liquide et va au gazomètre par *l n o p*, jusqu'à ce que la surproduction ait cessé.

Le gaz se rend à la canalisation par *z*; *h* est un robinet purgeur, qui sert à expulser l'air au commencement de l'opération, après qu'on a mis en place l'eau et la bougie de carbure. On peut changer la bougie pendant la marche en fermant le robinet *i*.

Appareil R. Türr. — Dans cet appareil, les mouvements de l'eau manœuvrent le robinet d'arrivée du liquide, de sorte que l'alimentation est réglée par la production; cependant, c'est encore la pression du gaz qui refoule l'eau, comme dans le briquet. Afin d'éviter la surproduction, l'eau est recouverte d'une couche de pétrole.

L'appareil Türr se compose de deux cylindres concentriques R et C, fixes tous deux (fig. 33), et communiquant ensemble par les tubes K. Le récipient intérieur C renferme le carbure de calcium, placé dans un cylindre en tôle, fermé à la partie inférieure par une toile métallique, et supporté par des crochets fixés au pourtour du cylindre. L'eau arrive par le robinet T, que commande le flotteur B; le gaz se rend à la canalisation par le tube S.

Si on ferme le robinet de ce dernier tube, le gaz s'accumule dans la cloche C; sa pression refoule dans l'enveloppe extérieure l'eau, qui vient soulever le flotteur B, et celui-ci ferme le robinet T. Une couche de pétrole de quelques centimètres, recouvrant le liquide de la cloche C, empêche l'évaporation de l'eau et l'attaque ultérieure du carbure par la vapeur. D'ailleurs, le carbure lui-même est imbibé de pétrole avant

son introduction dans le panier. En outre, s'il continue à se produire une légère action, le gaz s'échappe par le tube Z, muni d'une boîte V, qui arrête le liquide

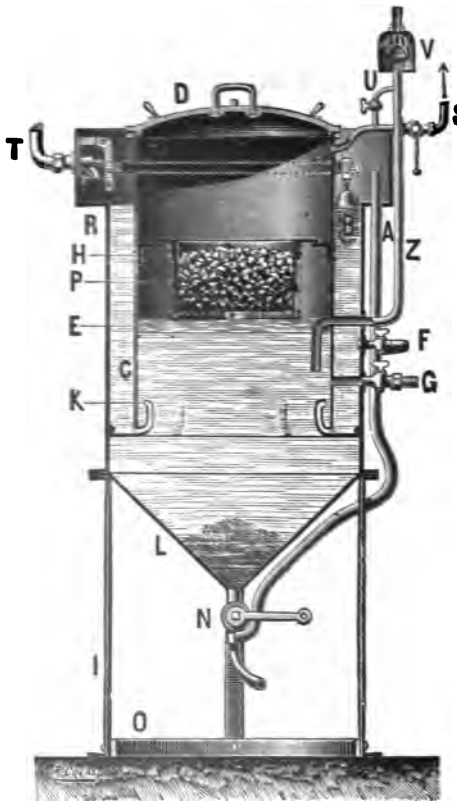


Fig. 33. — Appareil R. Türr.

entraîné. S communique avec Z par un petit tube U, ...ni d'un robinet, qui permet de chasser l'air de la

cloche au moment où l'appareil commence à fonctionner.

L'eau de chaux est évacuée par un robinet N, à grande section. Un tube A, servant de trop-plein, se rend au tuyau de vidange, et le tube F sert à vider l'espace annulaire.

CHAPITRE XII.

GÉNÉRATEURS A ÉCOULEMENT D'EAU PROPORTIONNEL AU DÉBIT.

Appareil de la Société du Gaz Acétylène. — Appareil Clauzolles. — Appareil Dickerson. — Appareil « Le Phare ». — Appareil Bon. — Appareil Chardin. — Appareil Leroy et Janson. — Appareil Cerckel. — Appareil de Resener et Luchaire.

Dans un certain nombre d'appareils, l'arrivée de l'eau sur le carbure se fait proportionnellement au débit du gaz ; elle est réglée le plus souvent par les mouvements de la cloche du gazomètre.

Appareil de la Société du Gaz Acétylène. — Le réglage est généralement produit par le système le plus simple, c'est-à-dire à la main.

Chaque générateur (fig. 34) se compose d'un cylindre divisé en quatre parties égales par deux cloisons verticales perpendiculaires : chacun des compartiments reçoit un panier cylindrique rempli de carbure de calcium et perforé à la base. Le récipient étant fermé, on fait arriver l'eau dans le premier compartiment, où elle attaque le carbure à partir du bas ; puis elle envahit successivement les trois autres par des trop-plein et passe ensuite, s'il y a lieu, dans un second

générateur disposé à la suite du premier. L'acétylène qui se dégage d'un récipient se rend à un serpentin

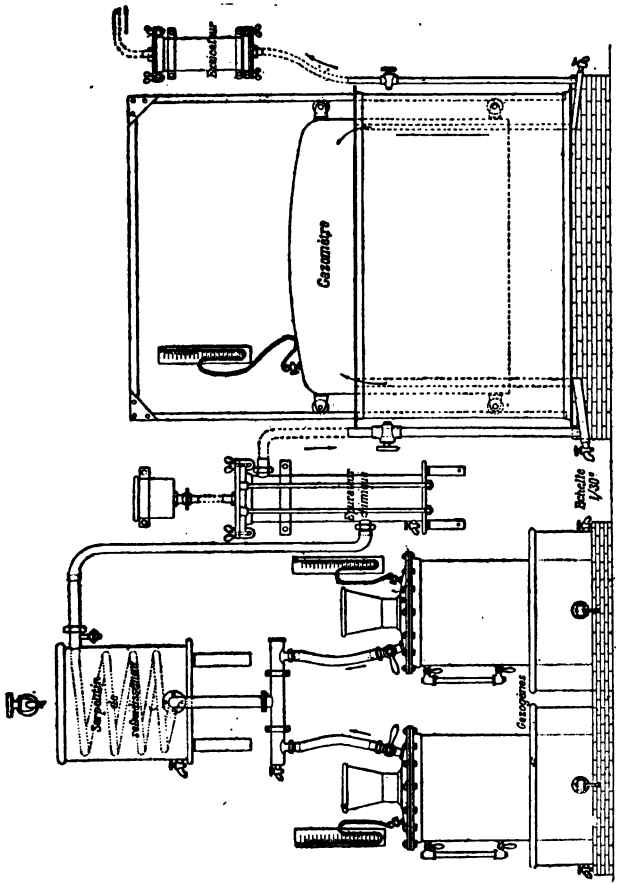


Fig. 34. — Appareil de la Société du gaz acétylène.
Élévation développée d'une installation de 200 à 300 Becs.

réfrigérant, puis à un épurateur chimique, renfermant

d'abord de l'acide chlorhydrique, puis de l'eau ; il est ensuite emmagasiné dans le gazomètre, à la sortie duquel il traverse encore un dessiccateur, rempli de carbure de calcium.

Une installation de ce genre a fonctionné en septembre 1896, à l'Exposition du Palais du Travail, à Paris, rue de Belleville ; elle comprenait trois gazogènes et un appareil de réserve communiquant directement avec le gazomètre. A l'origine, on avait rendu la manœuvre automatique, en faisant commander l'ouverture du robinet d'eau par la cloche du gazomètre. On a préféré ensuite régler le débit de l'eau à la main, en observant les mouvements du gazomètre. L'installation comportait plus de 150 becs.

Appareil Clausolles. — L'eau est contenue dans un réservoir, en quantité suffisante pour décomposer le carbure, placé dans un générateur hermétiquement clos. L'acétylène se rend au gazomètre par un tube muni d'un robinet. L'écoulement de l'eau est réglé par un robinet, dont le levier est attaché à une chaîne, solidaire des mouvements de la cloche. Le robinet se ferme donc quand la cloche monte et s'ouvre quand elle descend. Le gaz sort du gazomètre ; un tube, partant du fond de la cloche, permet de recueillir le gaz dû à la surproduction. Pour recharger l'appareil, on desserre les quatre écrous du couvercle et on remplace le gazogène par un autre tout préparé. Une sonnerie électrique avertit quand la cloche est pleine.

Appareil Dickerson. — L'eau, placée dans un en-

tonnoir 11 (fig. 35), coule sur le carbure 4 par le tube 13 et la rampe 16 ; l'acétylène se rend au gazomètre 1 par le tube 12. L'écoulement de l'eau est réglé par le robinet 5, à contrepoids 9, dont le levier 10 est commandé par une chaîne 2, solidaire de la cloche du gazomètre.

Le boisseau 6 du robinet 5 est percé d'un conduit

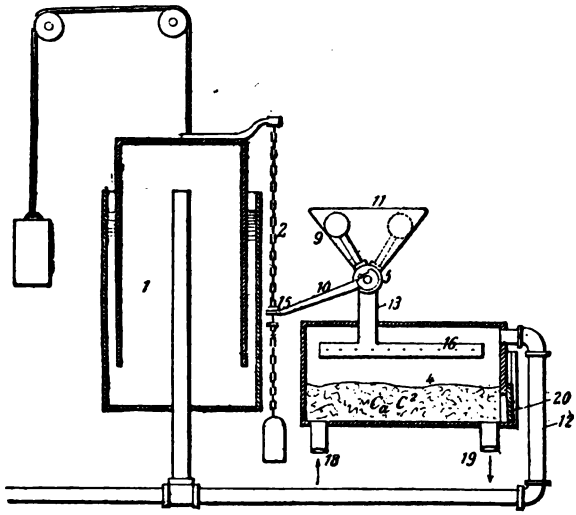


Fig. 35. — Appareil Dickerson.

coudé 7-8, qui occupe la position (fig. 36) lorsque la cloche est au haut de sa course et le contrepoids dans la position représentée en pointillé (fig. 35) ; une certaine quantité d'eau emplit alors le conduit coudé. Si la cloche s'abaisse, le contrepoids 9 prend la position figurée en traits pleins, le robinet 5 tourne de

90°, et l'eau du conduit 7-8 est versée dans le gazogène ; une nouvelle quantité d'eau ne peut couler que si le robinet est d'abord ramené à sa première position par l'ascension de la cloche. On peut augmenter les dimensions de la chambre 7-8 en donnant au robinet une plus grande longueur.

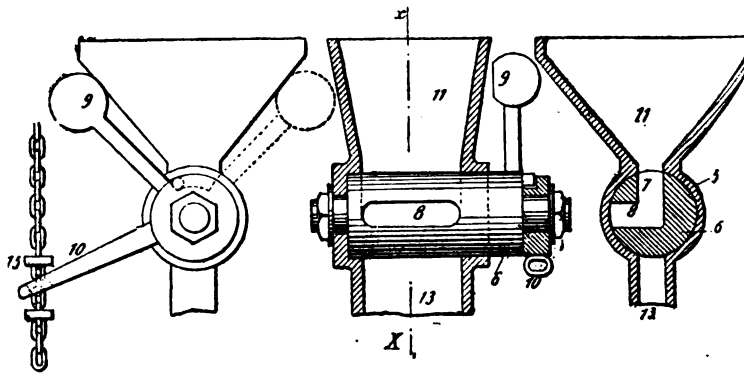


Fig. 36. — Détail du robinet.

Appareil « Le Phare ». — Cet appareil se compose d'une cuve A (fig. 37), dans laquelle plonge une cloche B, qui actionne, par un lien flexible C, la tige *d* d'un robinet D placé sur un réservoir d'eau E. Ce réservoir d'eau communique par le robinet D et le tuyau F avec la batterie des gazogènes G, qui sont reliés entre eux par des tubes flexibles I.

Le dernier des gazogènes G est relié par un tube flexible à la conduite J qui, passant par un siphon K, amène le gaz dans la cloche B. Le départ du gaz pour

la canalisation se fait par un deuxième tube L, placé dans la cuve A.

Chaque gazogène G renferme six boîtes à carbure dont les bords sont crénelés. La boîte du fond porte trois montants destinés à maintenir en place les autres

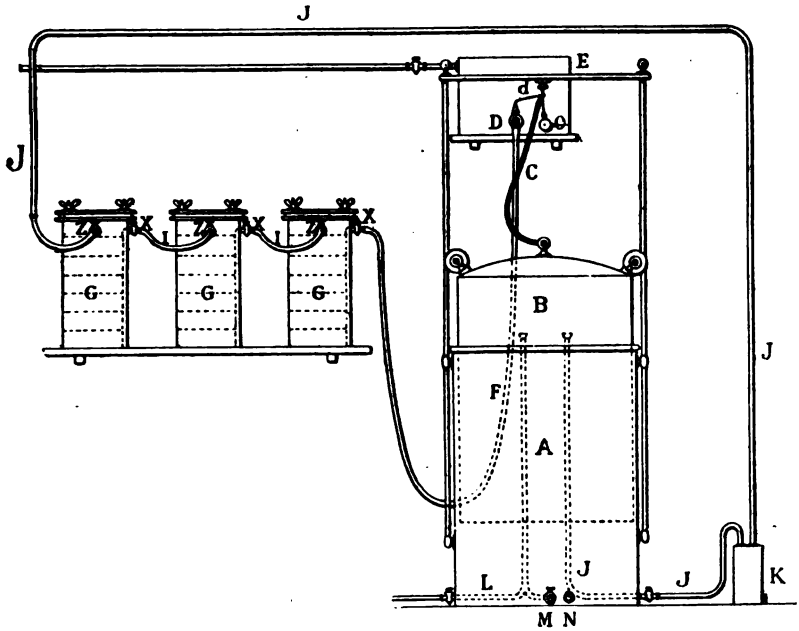


Fig. 37. — Appareil « Le Phare » (J. Rosenberg).

boîtes, qui reposent directement les unes sur les autres et au centre desquelles est placé un petit tube pour l'arrivée de l'eau.

La quantité de carbure contenue dans chaque sec-

tion est telle que la production du gaz est inférieure à la contenance de la cloche B.

Enfin, la tige *d* du robinet D est soumise à l'action d'un contrepoids O, qui tend constamment à fermer le robinet et à ne laisser passer que la quantité d'eau strictement nécessaire. M est le purgeur du tube L, N le robinet de vidange. Un robinet flotteur, assurant l'alimentation du réservoir d'eau, et une sonnerie électrique, avertissant que la batterie est épuisée, complètent l'installation. Chaque boîte se trouvant entourée d'eau avant l'attaque même du carbure, cette sorte de bain-marie empêche tout échauffement brusque d'un point quelconque de la paroi du gazogène.

La disposition des robinets permet de recharger la batterie sans aucune odeur et sans interrompre l'éclairage. Lorsqu'il ne reste plus qu'un gazogène en charge, on l'isole de ceux déjà usés en fermant d'abord le robinet X du gazogène en charge et tous les robinets des autres, on retire les tubes flexibles de raccord et on met en communication directe le robinet D du réservoir d'eau avec le robinet X du gazogène laissé en charge, puis on ouvre ce robinet.

Le couvercle des gazogènes doit être muni d'un joint en caoutchouc.

Quand le gaz commence à se dégager, on ouvre le bouchon du siphon K pendant quelques instants, pour laisser échapper l'air.

La fermeture automatique du robinet D empêche en partie la surproduction.

Appareil Bon[1]. — Cet appareil comprend un générateur A, un réservoir d'eau C et un gazomètre B.

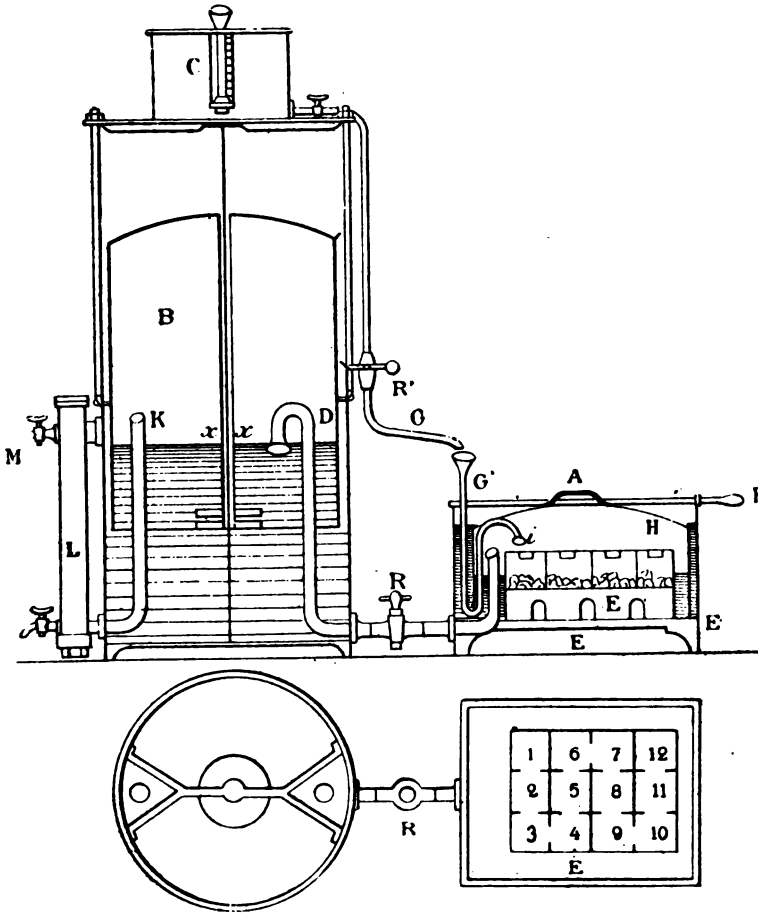


Fig. 38. — Appareil Bon.

1. Compagnie continentale d'éclairage par le gaz acétylène.

L'eau est amenée dans le générateur par petites quantités, au fur et à mesure des besoins, et vient attaquer progressivement le carbure, qui est placé dans une boîte à casiers E (fig. 38), divisée en compartiments dont le nombre et les dimensions varient suivant la capacité de l'appareil. Ces casiers communiquent par des encoches pratiquées à la partie supérieure des cloisons, et seulement dans l'ordre indiqué par les chiffres : chacun d'eux contient de 0,2 à 2 kilogrammes de carbure, soit exactement la provision nécessaire pour remplir une fois le gazomètre. Une cloche H recouvre les casiers ; la cuve extérieure E reçoit un peu d'eau, qui forme joint hydraulique et sert en même temps de réfrigérant.

L'eau est amenée du réservoir C par les tubes G G′ *i* au-dessus du premier compartiment ; l'écoulement peut être surveillé dans l'entonnoir G′. Un robinet à contrepoids R′, dont la clef repose sur la cloche du gazomètre, règle l'arrivée du liquide et l'intercepte automatiquement quand le gazomètre est plein.

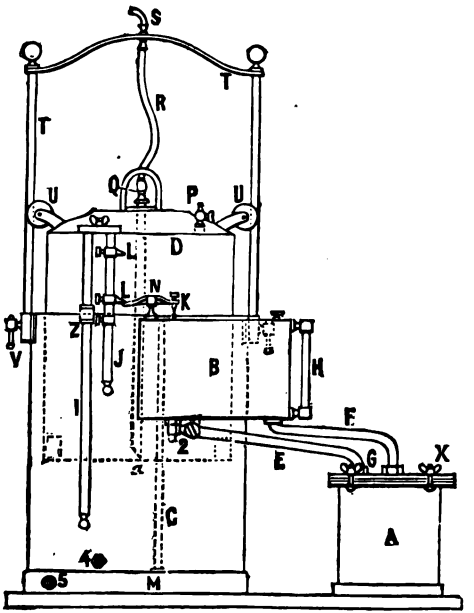
L'acétylène se rend au gazomètre par le tuyau D, muni d'un robinet R à deux directions, qui permet de faire communiquer le gazogène avec l'extérieur ; en sortant de ce tuyau, le gaz traverse une petite couche d'eau, qui le refroidit et dissout les impuretés. Du gazomètre, le gaz se rend aux brûleurs par le tuyau K et la colonne d'épuration L, remplie, à la base, de pierre ponce imbibée de sulfate de cuivre et, au-dessus, de carbure de calcium. Le premier sel absorbe l'hy-

drogène phosphoré ou arsénié ; le second sert de desséchant. La cloche du gazomètre est équilibrée par des poids intérieurs et montée sur glissière centrale.

Au commencement de l'opération, on chasse l'air du gazogène par R, en faisant arriver un peu d'eau par R′.

Appareil « Le Tsar ». — Dans cet appareil, fabriqué par M. Chardin, l'eau est contenue dans un réservoir B (fig. 39), muni d'un tube de niveau H et divisé en deux parties par une cloison-filtre; elle s'échappe par un tuyau E, muni d'une soupape conique très allongée, manœuvrée par une tige K, pour se rendre au gazogène A. A la cloche D du gazomètre est fixée une tige J, guidée par I, et qui porte un certain nombre d'ergots LL, qu'on dispose à des hauteurs convenables. Pendant la descente de la cloche, chacun de ces ergots vient appuyer successivement sur le levier N, qui soulève la tige K et la soupape conique : une certaine quantité d'eau est admise en A et attaque le carbure. Le gaz se rend à la cloche par F, en traversant la chambre de condensation M, placée à la base du gazomètre. Les ergots sont de longueur différente et agissent plus ou moins longtemps.

En cas de surproduction, le gaz en excès s'échappe en *a*, par un tube central taillé en biseau, et peut être conduit au dehors par un tuyau R, fixé en S. Le tube de sortie normal se voit en Y, sur le second dessin, en arrière et à droite de l'appareil.



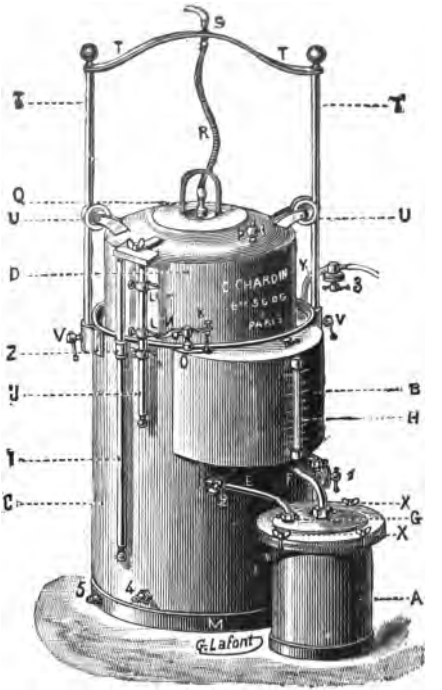


Fig. 39. — Appareil « Le Tsar ».

Appareil Leroy et Janson. — Cet appareil possède deux générateurs identiques B et B′ (fig. 40), de sorte qu'on peut remplir l'un de carbure pendant que l'autre est en service. Le réservoir A contient la quantité d'eau nécessaire pour décomposer la charge d'un des gazogènes. Les couvercles de ces appareils sont maintenus par une rondelle de caoutchouc et des boulons à rabattement avec écrous à oreilles ; un tube central amène l'eau à la partie inférieure du carbure, qui est contenu dans un seau ; un autre conduit le gaz à la cloche C.

L'écoulement de l'eau est réglé par un robinet à levier F, placé au haut de la cuve D, et qui se ferme seul sous l'action d'un ressort. Ce robinet est relié, d'une part, avec le robinet I du réservoir d'eau et, d'autre part, avec les robinets d'alimentation J et J′ des générateurs. Il s'ouvre chaque fois que, pendant la descente de la cloche, il est heurté par l'un des quatre doigts G, fixés sur la tige H, guidée par une glissière. L'eau pénètre alors seulement dans l'un des gazogènes, l'autre étant fermé. L'acétylène se dégage par le tuyau KK′E, traverse une chambre de condensation munie d'un robinet de purge R, et se rend à la cloche C, communiquant par le robinet L avec la canalisation.

Au sommet du tuyau KK′E se trouve un robinet de sûreté N, identique à F, et qui s'ouvre sous l'action du taquet H, lorsque la cloche est complètement remplie, pour laisser échapper l'excès de gaz, qu'un tuyau spécial

est encore utilisée pour refouler l'eau, comme dans ceux du chapitre précédent.

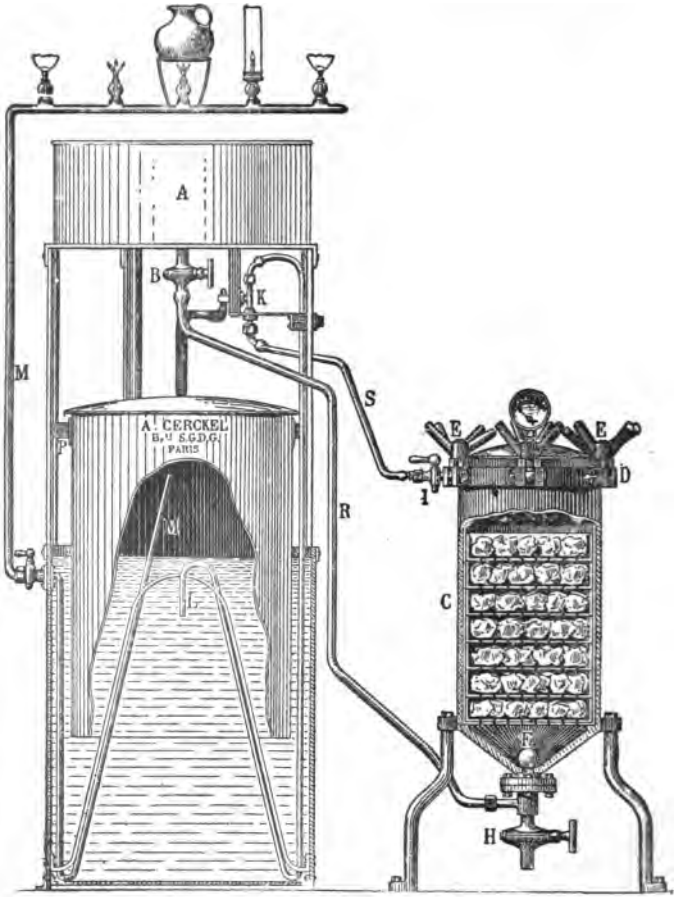


Fig. 41. — Appareil Cerckel.

Appareil de Resener et Luchaire. — Dans cet

appareil (fig. 42), l'écoulement de l'eau est réglé très simplement par le jeu d'un siphon. Il y a deux ou plusieurs générateurs tels que C C '. Le carbure, concassé, est contenu dans des godets annulaires superposés dans un seau K, ce qui permet, après l'épuisement,

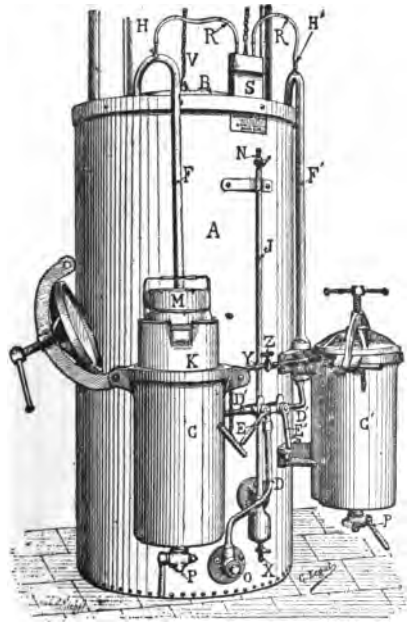


Fig. 42. — Appareil de Resener et Luchaire.

d'enlever d'un seul coup tout le chargement épuisé et l'eau de chaux produite. Chaque récipient est muni d'un couvercle, maintenu par une vis de pression, et qui repose sur un joint de caoutchouc hermétique. L'eau de la cuve A du gazomètre est amenée dans les

générateurs par le tuyau à deux branches D, muni de deux robinets E E'. Le gaz s'échappe par les tuyaux recourbés F F', qui aboutissent au fond de la cuve A.

L'arrivée de l'eau est réglée par un régulateur S, qui se compose d'une cloche longue et étroite (fig. 43), reliée par un tuyau souple R aux tubulures H H' des tubes de dégagement F F', et rattachée d'autre part à la cloche B du gazomètre par une chaîne V, passant

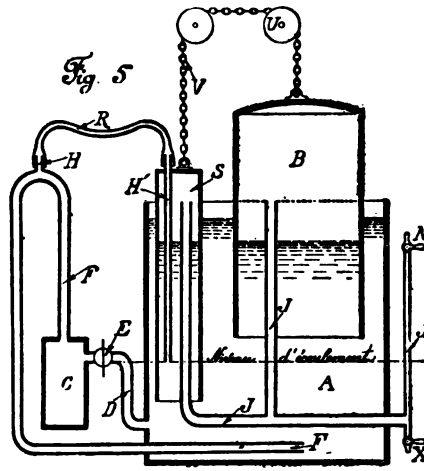


Fig. 43. — Principe du régulateur.

sur des poulies. Le régulateur est donc solidaire de la cloche et se meut en sens contraire. Lorsque la cloche B est suffisamment soulevée pour que le régulateur descende jusqu'à la position représentée (fig. 43), l'extrémité du tube H' se trouvant dans le même plan horizontal que le robinet E, l'équilibre s'établit et l'eau

cesse de couler. Dès que la cloche B s'abaisse, le régulateur S se soulève et l'eau coule dans le générateur C, sous l'influence de la pression due à la hauteur d'eau comprise entre le robinet E et le bas du tube H'. Le gaz est conduit au dehors par le tuyau N, communiquant par J avec la cloche et avec le régulateur, de sorte que la pression du gaz est toujours la même dans les deux appareils.

CHAPITRE XIII.

GÉNÉRATEURS A CHUTE DE CARBURE.

Appareils Lequeux-Wiesnegg. — Appareil Dickerson. — Appareil de projections de la Société du Gaz Acétylène. — Gazogène industriel. — Appareil portatif Leroy et Janson. — Appareil de la Société internationale de l'Acétylène. — Acétylénogène Patin. — Appareil Seguin et de Perrodil. — Appareils Beau et Bertrand-Taillet.

Au lieu de faire arriver l'eau sur le carbure de calcium, nous avons dit qu'on peut faire tomber le carbure dans l'eau : c'est ce qui a lieu dans les appareils suivants.

Appareils Lequeux-Wiesnegg. — Ce sont les plus simples parmi les appareils disposés pour laisser tomber le carbure de calcium dans l'eau.

L'appareil (fig. 44) sert à la fois de gazogène et de gazomètre ; il ne peut fournir qu'un éclairage de quelques heures, par exemple pour une conférence ou des projections. Une cloche A, reposant sur une cuve B, porte à la partie supérieure un large orifice fermé par un bouchon hydraulique F. L'appareil étant rempli d'eau, on introdnit rapidement dans cette ouverture

le bouchon F, portant un seau E et un panier D, qui renferme la provision de carbure nécessaire pour rem-

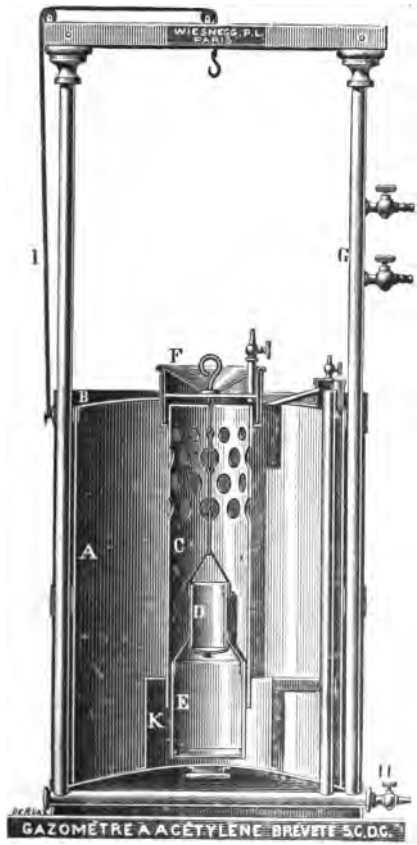


Fig. 44. — Appareil à production d'acétylène de Lequeux.

plir la cloche A. Le gaz, en se dégageant, soulève cette

cloche. Le tube de dégagement descend verticalement jusqu'au fond de l'appareil et communique avec la colonne creuse G, qui sert de guide à la cloche et porte

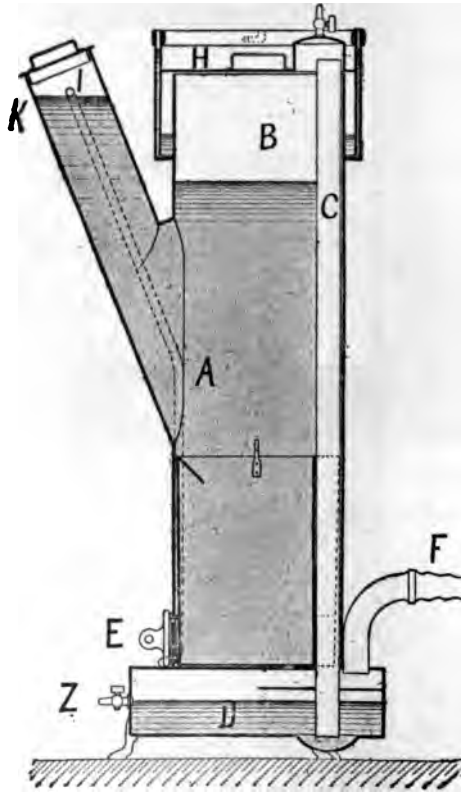


Fig. 45. — Appareil Lequeux. (Autre modèle.)

les robinets de prise de gaz. Le robinet H sert à faire écouler l'eau de condensation.

Les modèles (fig. 45 et 46) servent à remplir un ga-

mètre séparé. Le premier se compose d'un cylindre B, qu'on remplit d'eau par le couvercle H, formant

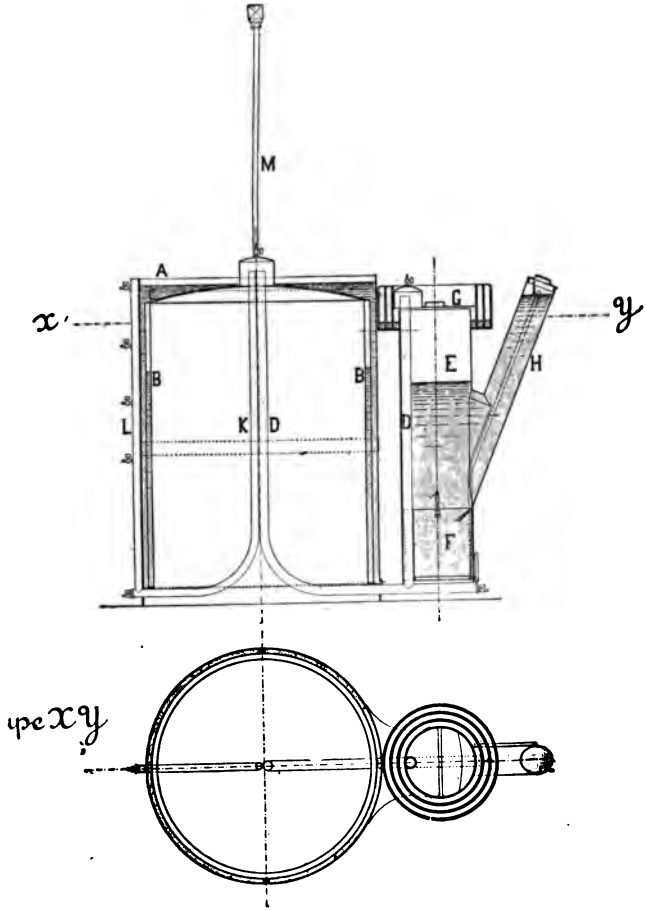


Fig. 46. — Appareil Lequeux. (Autre modèle.)

joint hydraulique. Les fragments de carbure de calcium sont introduits par une manche latérale K, et tombent rapidement au fond du cylindre. Le gaz se dégage en B, où il fait baisser le niveau du liquide; il traverse le tube vertical C, se lave dans la caisse inférieure D, remplie d'eau jusqu'au niveau du robinet Z, et se rend au gazomètre par F. Lorsqu'on veut nettoyer le générateur et enlever la chaux qui s'amasse dans un seau au fond du cylindre, l'eau placée en D forme joint hydraulique et empêche le retour du gaz contenu dans le gazomètre.

La figure 46 représente un modèle analogue avec son gazomètre. Ce dernier est à cloche double, afin de mettre le moins possible de liquide en contact avec le gaz produit et d'éviter les dissolutions et les pertes.

Le générateur E est formé d'un gros tube, au fond duquel se trouve un seau F, destiné à recevoir la plus grande partie de la chaux formée pendant les réactions du carbure de calcium sur l'eau.

On introduit le carbure de calcium par la manche H. Il se précipite immédiatement dans le seau F et le gaz se dégage dans la partie supérieure du corps cylindrique E, de façon à aboutir sous la cloche du gazomètre par un système de tubes D.

Le générateur E est fermé par un couvercle G, disposé avec joint hydraulique simple ou multiple, suivant la pression que l'on veut obtenir; cette pression peut varier de 4 à 30 centimètres d'eau, ce qui est nécessaire

Des robinets placés en haut du générateur et en haut de la cloche permettent de purger l'air et d'avoir un gaz parfaitement pur.

Le dessin représente la cloche arrivée au bas de sa course, mais étant sous une prèssion de 30 centimètres.

Lorsque la cloche descend par suite de l'emploi du gaz, il suffit de précipiter quelques morceaux de carbure de calcium par la manche H, pour reproduire une nouvelle quantité d'acétylène.

Lorsqu'on dispose de morceaux trop petits, il est pratique d'envelopper ces morceaux dans un petit sac de papier, et d'introduire le tout dans le générateur. La réaction est moins immédiate et la totalité du gaz arrive dans l'espace E pour pénétrer ensuite sous la cloche par le tube D.

La même maison construit encore un modèle un peu différent. Le cylindre est incliné et divisé en deux parties par une cloison passant par son axe. On jette le carbure dans le compartiment inférieur; il tombe au fond; le gaz se dégage par le compartiment supérieur et se rend au gazomètre en traversant une sorte de barillet, qui forme joint hermétique et sert en même temps à laver le gaz. Lorsqu'on veut obtenir une productoin plus abondante, on dispose parallèlement, sur un même support, plusieurs cylindres reliés au même barillet; un tube unique fait communiquer le barillet avec le gazomètre.

Appareil Dickerson. — Dans l'un des modèles de cet inventeur, la disposition est analogue à celle de la

figure 35 ; mais elle est employée pour faire tomber le carbure dans l'eau.

Appareil de projections de la Société du gaz acétylène. — Cet appareil est destiné à produire un éclairage temporaire de 2 ou 3 heures : le gazogène renferme l'eau ; un panier, pouvant contenir jusqu'à 500 grammes de carbure de calcium, est soutenu par une tige filetée, qui permet de l'enfoncer progressivement. Le tube de dégagement porte vers son milieu un ballon de caoutchouc servant de condensateur et de régulateur de pression ; ce ballon se gonfle pour une pression de 120 centimètres d'eau. L'état du ballon indique à chaque instant dans quel sens on doit manœuvrer le panier à carbure.

Gazogène industriel. — Cet appareil, construit par la société Le Gaz acétylène, se compose d'un récipient cylindrique D (fig. 47), fermé à sa partie supérieure par un couvercle fixé par des boulons, et entouré, sur le tiers de sa hauteur, d'une bâche A, remplie d'eau, servant au refroidissement.

Au centre du couvercle est fixé un tube *d*, terminé à sa partie supérieure par un entonnoir *a*. Un flotteur de forme conique C, monté sur une tige E, guidée à ses deux extrémités, peut se déplacer verticalement suivant l'axe du tube. La tige E porte, à sa partie supérieure, une poignée de commande.

Le corps de l'appareil est muni d'un niveau d'eau semblable à ceux employés dans les chaudières.

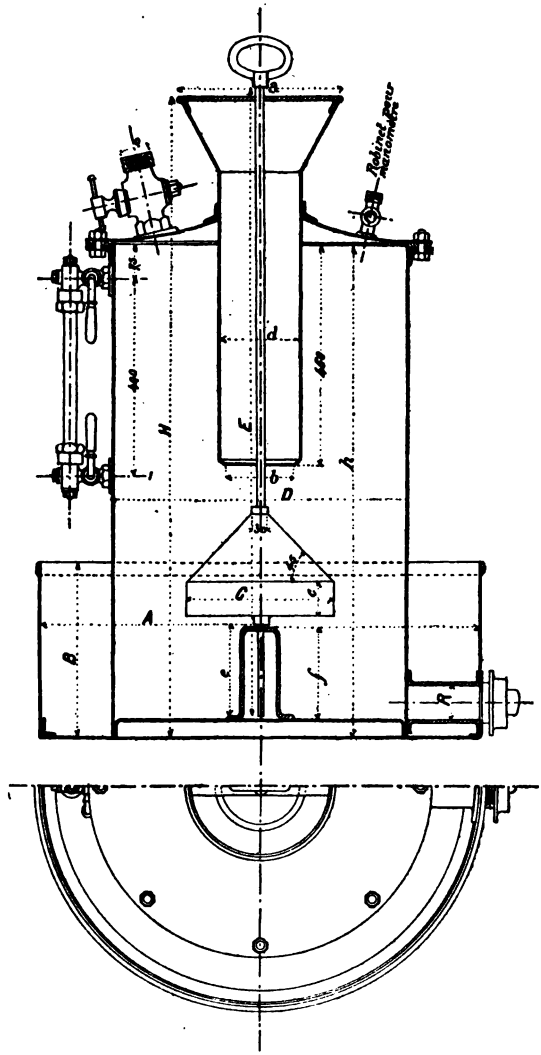


Fig. 47. — Gazogène industriel.

Un robinet de sortie de gaz O est monté sur un couvercle.

Un orifice R est ménagé à la partie inférieure de l'appareil pour la vidange et le nettoyage.

La manœuvre est des plus simples; l'appareil étant rempli d'eau jusque vers le milieu du tube de niveau, le flotteur C vient obturer l'orifice inférieur du tube central et empêche les bulles de gaz de se dégager par celui-ci pendant la marche. Pour produire du gaz, on n'a qu'à abaisser le flotteur en agissant sur la poignée de commande, et introduire quelques morceaux de carbure de calcium par l'entonnoir *a;* le gaz dégagé est envoyé au gazomètre par le robinet O.

Le tube *d* plongeant en partie dans l'eau, l'étanchéité se trouve ainsi absolument assurée.

Appareil portatif Leroy et Janson. — L'eau est placée dans la cuve A (fig. 48), que ferme une sorte d'entonnoir B, contenant le carbure de calcium. Cette cuve est entourée d'une double enveloppe, également pleine d'eau, dans laquelle plonge une cloche régulatrice C, dont les mouvements déterminent la chute du carbure. En effet, la partie inférieure de l'entonnoir B est fermée par un cône distributeur fixé à une tige rigide L; ce cône est maintenu appliqué contre l'ouverture par un ressort R, réglable au moyen de la vis *v*. Quand la pression intérieure diminue, l'eau s'élève dans la cuve A et s'abaisse dans l'espace annulaire, qui communique avec elle. La cloche C, qui est surchargée d'une masse de plomb P, descend aussi, vient appuyer

sur le bouton *b*, qui termine la tige L, et ouvre le cône distributeur. Un peu de carbure tombe dans l'eau, l'acétylène se dégage, la pression augmente et la cloche remonte ; le distributeur se referme aussitôt.

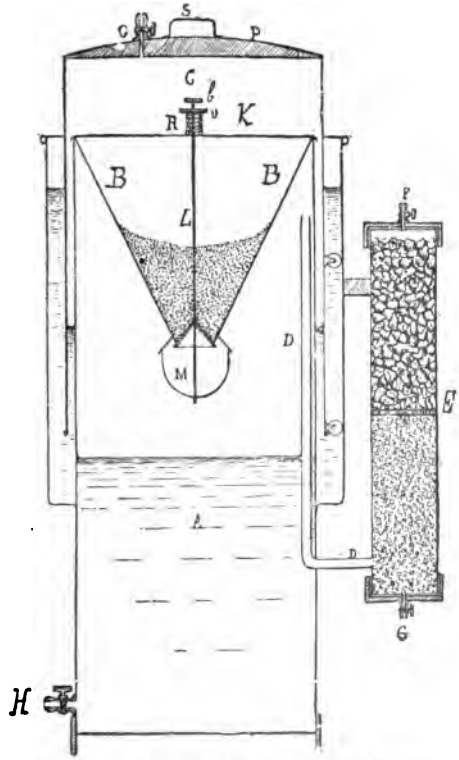


Fig. 48. — Appareil portatif Leroy et Janson.

Le gaz s'échappe par le tube D et traverse l'épu rateur E, qui renferme de la pierre ponce et au-dess une couche de carbure de calcium, pour arrêter l'hu

dité et la poussière de chaux entraînée; il se rend ensuite à la canalisation par le robinet *f*.

G est un robinet de purge, destiné à l'écoulement de l'eau condensée au fond de l'épurateur. Une ouverture à charnière K sert à introduire le carbure dans l'entonnoir. Le robinet O permet de faire sortir une partie de l'air contenu dans la cloche régulatrice, afin de régler sa hauteur; S est une anse servant à soulever cette cloche. Le robinet de vidange H sert à l'écoulement de l'eau de chaux.

Appareil de la Société internationale de l'Acétylène. — Dans cet appareil, on fait usage de carbure de calcium granulé, dont on remplit le réservoir C (fig. 49), placé au sommet de la cloche B, que l'on referme soigneusement à l'aide du bouchon F. Pendant cette opération, on maintient la cloche soulevée au moyen des arrêtoirs N; on l'abandonne ensuite à elle-même; elle s'enfonce, entraînée par le poids de la couronne G, et l'on ouvre le robinet du tube de sortie O, pour expulser l'air. Dans ce mouvement, la tige de la soupape D vient rencontrer le plateau de butée K; cette soupape s'ouvre et laisse échapper un peu de carbure, qui s'éparpille sur le disperseur E et tombe en gerbe dans l'eau. L'acétylène se produit et fait remonter la cloche.

En cas de surproduction, le gaz s'échappe par le tube de sûreté L. J est le robinet de vidange.

Acétylénogène Patin. — Cet appareil, destiné aux usages domestiques, est disposé aussi pour verser le

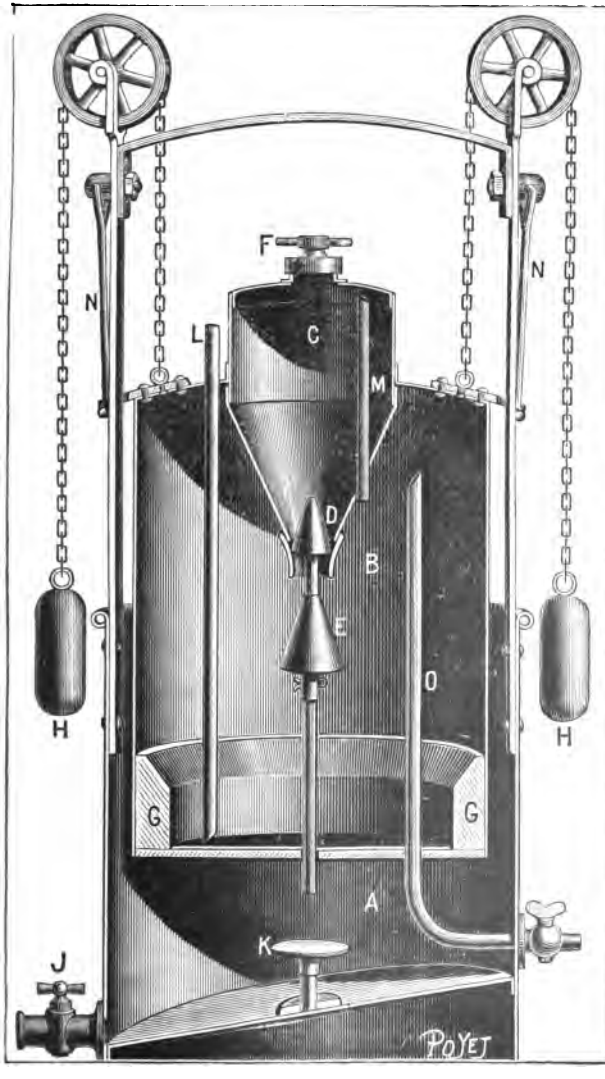


Fig. 49. — Appareil de la Société internationale de l'Acétylène.

carbure dans l'eau : l'alimentation est proportionnelle au débit et commandée par les mouvements de la cloche du gazomètre. Le gazogène (fig. 50) se compose d'un corps cylindrique, muni d'un tube oblique, par lequel on introduit le carbure. Le corps est rempli d'eau et le tube d'huile de pétrole. Le carbure est placé dans un distributeur, non figuré, qui se compose d'un casier à compartiments disposé sur une coulisse fixe horizontale, et qui est tiré par la cloche du gazomètre, à l'aide d'une chaînette, avec une vitesse à chaque instant proportionnelle au débit.

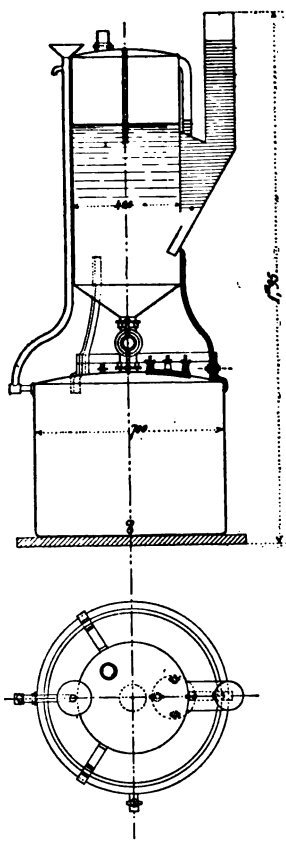


Fig. 50. — Acétylénogène O. Patin.

Ce carbure est enduit de pétrole, pour le soustraire à l'action de l'humidité de l'air ; il tombe par le tube incliné, à mesure que le distributeur s'avance vers le gazomètre, qui se trouve à droite du dessin, et n'est attaqué par l'eau qu'en arrivant dans le générateur. L'acétylène se rend au gazomètre par le haut du cylindre.

La chaux se réunit au fond du réservoir inférieur, d'où on l'extrait par un robinet de vidange, lorsqu'elle s'élève à une certaine hauteur; une manœuvre convenable des robinets permet de remplacer cette dissolution par de l'eau pure, sans toucher au contenu du générateur. Un trop-plein, visible à gauche, maintient le niveau constant dans le gazogène.

Pour la mise en train, on jette à la main quelques morceaux de carbure par le tube incliné, afin de chasser l'air et de soulever assez la cloche pour que le distributeur se trouve à fin de course vers la gauche.

Appareil Seguin et de Perrodil. — Deux cylindres concentriques A et B (fig. 51), renferment l'eau; une manche C, munie d'un entonnoir E, permet l'introduction du carbure de calcium, qui vient tomber dans la grille G.

Ce carbure est placé dans un distributeur D, muni de volets, qui peut tourner autour d'un axe O; une tige T, mue par le gazomètre, pousse le distributeur automatique à chaque descente de la cloche. Le gaz formé dans le générateur passe dans la cloche et la fait monter. Par suite de ce mouvement, la tige T se soulève, abandonnant le distributeur. A la descente suivante, cette même tige pousse un autre volet, et une nouvelle charge de carbure tombe. L'opération recommence ainsi un nombre de fois variable suivant la dépense.

Le gaz, à sa sortie du gazomètre, passe dans un épurateur chimique et un dessiccateur.

La surproduction et l'échauffement sont évités; mais cet appareil, comme le précédent, exige un distributeur très bien construit.

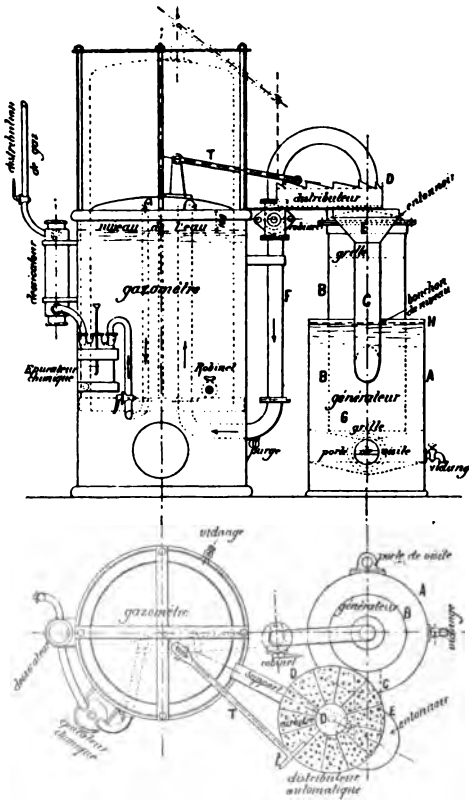


Fig. 51. — Appareil Seguin et de Perrodil.

Appareils Beau et Bertrand-Taillet. — Cette maison construit deux types d'appareils, disposés éga-

lement pour faire tomber le carbure de calcium dans l'eau. L'un de ces modèles est formé d'un gazogène qu'on réunit avec un gazomètre indépendant; dans l'autre, le même cylindre sert à la fois de gazogène et de gazomètre.

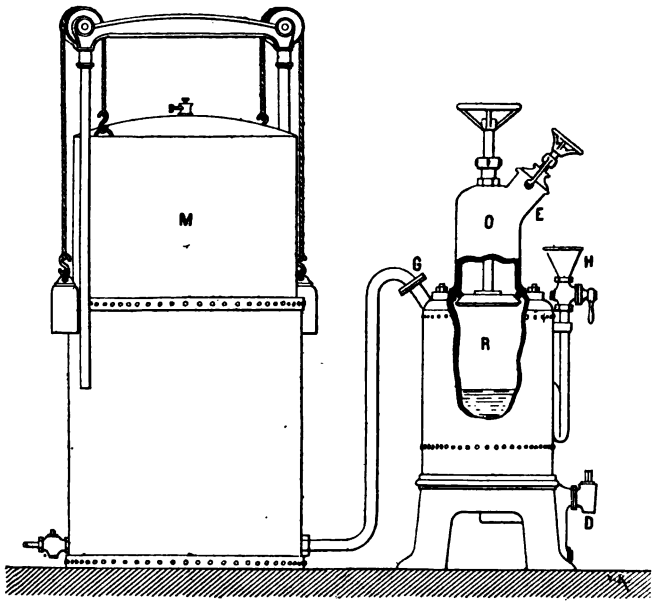


Fig. 52. — Appareil Beau et Bertrand-Taillet, à gazomètre indépendant.

Dans le premier appareil (fig. 52), le gazogène se compose d'un réservoir cylindrique en tôle R, surmonté d'une cloche en fonte O, dont le fond forme soupape et peut s'abaisser lorsqu'on tourne son axe fileté à l'aide d'un volant à main. Sur le côté de la cloche, une tubu-

lure E, fermée à l'aide d'un clapet à étrier et d'une vis à rabattement, permet d'introduire la charge de carbure.

L'eau arrive dans le réservoir par une conduite H en forme de siphon, fixée à l'extérieur, et peut être évacuée par une grosse conduite D, également à siphon, prenant naissance dans le fond et munie d'un robinet.

Le gaz produit se rend par un large tuyau G dans le gazomètre M, qui est de la forme ordinaire, et dont la grandeur est appropriée aux besoins de l'installation.

Le gazogène, ayant été nettoyé, par une chasse d'eau, du résidu de l'opération précédente, est rempli aux deux tiers environ avec de l'eau propre. Le carbure est introduit par la tubulure de chargement dans la cloche supérieure ; puis, le clapet fermé, il est précipité dans la masse d'eau par la manœuvre de la soupape à volant.

Cette opération doit être répétée autant de fois qu'il est nécessaire pour que le gazomètre soit rempli.

Si le gazomètre est très grand et qu'il faille, par conséquent, un grand nombre de charges de carbure pour le remplir, on doit changer l'eau du gazogène lorsqu'elle commence à être saturée de chaux.

Le second appareil (fig. 53) se compose de :

1° Une cuve extérieure en tôle, montée sur un socle ;

2° Une cuve intérieure, dont le fond est surélevé pour permettre de loger la conduite de vidange en forme de siphon ;

3° Une cloche en tôle qui se meut dans l'espace annulaire, rempli d'eau, compris entre les deux cuves.

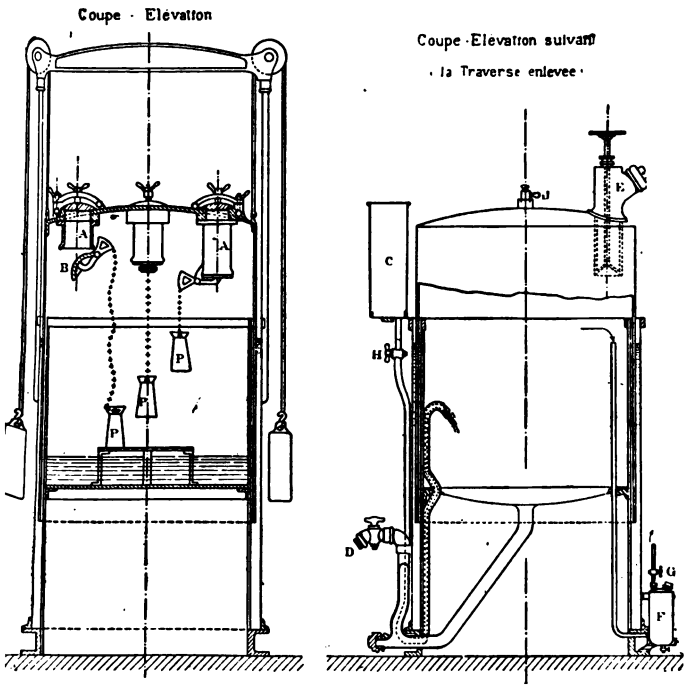


FIG. 53. — Appareil Beau et Bertrand-Taillet.

Sous le fond supérieur de la cloche sont fixés des tubes A, contenant le carbure de calcium. Ces tubes, en fonte de fer, sont fermés à la partie supérieure par des tampons à étrier et des vis à rabattement et, à la partie inférieure, par des soupapes à bascule B, équilibrées par des contrepoids P, à chaînettes de longueurs progressivement croissantes.

Le fond supérieur de la cloche est, de plus, muni d'une cloche à volant E, semblable à celle qui est employée dans le gazogène du modèle précédent. Il porte encore une soupape de sûreté J.

L'appareil est complété par un réservoir C, contenant la provision d'eau nécessaire pour décomposer le carbure, et par un épurateur F, destiné à retenir l'eau entraînée par le gaz à sa sortie.

Un robinet G met le gazomètre en communication avec la canalisation générale ; un autre robinet D permet l'évacuation de l'eau de chaux.

Le gazogène, ayant été nettoyé du résidu de la veille par une chasse d'eau, est rempli jusqu'au niveau prescrit avec de l'eau claire.

On introduit dans la cloche E une provision de carbure, que l'on précipite dans l'eau comme nous l'avons indiqué pour le premier modèle. La quantité de gaz produite est suffisante pour chasser l'air et faire ensuite monter la cloche jusqu'à sa position la plus haute.

C'est alors que l'on opère successivement le chargement de tous les tubes à soupape.

Au fur et à mesure que l'on consomme du gaz, la cloche baisse; quand le contrepoids de la première soupape vient à toucher le fond de la cuve, la soupape correspondante bascule et laisse tomber sa charge de carbure; la cloche remonte, et ainsi de suite jusqu'à ce que, tous les tubes ayant été vidés, la cloche reste à la position la plus basse. Il faut alors enlever l'eau de chaux produite et recommencer à charger l'appareil.

Le même appareil peut être construit non automatique ; il suffit de supprimer les tubes A. La charge se fait uniquement à l'aide de la cloche E et doit être recommencée chaque fois que la provision d'acétylène paraît être sur le point de s'épuiser. La quantité d'eau contenue dans l'appareil est assez grande pour qu'il suffise de la renouveler après quatre charges.

CHAPITRE XIV.

GÉNÉRATEURS D'ACÉTYLÈNE SOUS PRESSION.

Appareils Ducretet et Lejeune. — Appareil Dickerson. — Appareil Bullier. — Appareil de la Compagnie P.-L.-M.

Dans les appareils précédents, le gaz s'échappe à une pression peu supérieure à celle de l'atmosphère; ceux qui suivent le fournissent comprimé plus ou moins fortement.

Appareils Ducretet et Lejeune. — Cet appareil produit à volonté le gaz sous toutes les pressions, depuis les plus faibles jusqu'à celle qui suffit pour le liquéfier. Le carbure de calcium est contenu dans un panier perforé S (fig. 54), suspendu dans un récipient B très résistant, muni d'un couvercle à fermeture rapide avec joint hermétique bloqué.

La quantité d'eau nécessaire à la décomposition de ce carbure est introduite par O dans le récipient B'; un robinet *r* permet de vérifier s'il reste encore du liquide vers la fin de l'expérience. Les deux récipients sont reliés par deux tubes TT', munis, à la hauteur de A, de deux robinets d'arrêt à pointeau, qui servent à

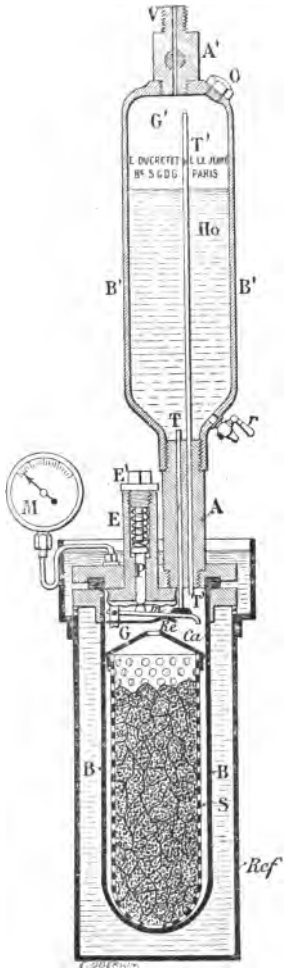


Fig. 54. — Appareil Ducretet et Lejeune.

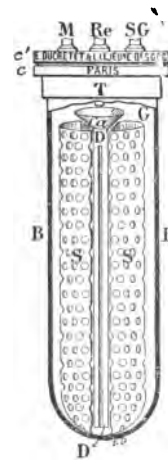


Fig. 55 — Appareil Ducretet et Lejeune : autre disposition du panier.

arrêter la chute de l'eau de B′ en B ou le passage du gaz de G en G′.

Quand les robinets sont ouverts, l'égalité de pression s'établit par T′, de sorte que l'eau s'écoule par T sous la seule influence de la pesanteur; elle tombe ainsi goutte à goutte sur l'entonnoir renversé *Ca*, suit les parois du récipient B et vient attaquer le carbure par la partie inférieure. Le débit du liquide est réglé par le régulateur Re placé sous le couvercle. Dès que la pression dépasse la limite fixée, qui est déterminée par la tension du ressort placé à l'intérieur de B, cette pression agit sur une membrane *m*, qui communique avec l'air extérieur, et la bloque sur son siège: le ressort intérieur, devenu libre, fait mouvoir un clapet, qui ferme l'orifice inférieur du tube T et arrête l'écoulement de l'eau, jusqu'à ce que la pression ait repris sa valeur normale. Une soupape de sûreté se trouve en E. Le manomètre M indique la pression.

Le gaz se dégage par V; il peut être desséché sur du carbure de calcium. L'écoulement peut aussi être régularisé par un réducteur de pression convenablement réglé.

En réglant le régulateur Re pour une pression plus élevée, l'appareil peut servir à liquéfier l'acétylène. On facilite la liquéfaction en refroidissant l'appareil au moyen d'un réfrigérant *Ref* à eau courante et en faisant circuler le gaz, à sa sortie, dans un serpentin à basse température. Enfin l'appareil peut être rendu non automatique en bloquant ou supprimant les or-

ganes du régulateur Ré. La chute de l'eau se fait encore par la seule action de la pesanteur; mais cet écoulement et la sortie du gaz sont commandés uniquement par les robinets A.

La figure 55 montre une autre disposition du panier perforé S. L'eau tombe dans un petit entonnoir *Ca* et coule par un tube fendu D; l'attaque commence encore par le bas et se fait de plus en plus haut, à mesure que le tube se trouve bouché par la chaux.

Le modèle (fig. 56) est employé surtout pour les basses pressions: il comporte les mêmes organes essentiels. Le régulateur de débit Ré est une soupape libre verticale, surmontée d'une petite colonne d'eau, qui s'ouvre sous la pression de la colonne de liquide du réservoir Ho et se ferme dès que la pression en G est devenue plus forte. L'écoulement s'arrête alors et recommence

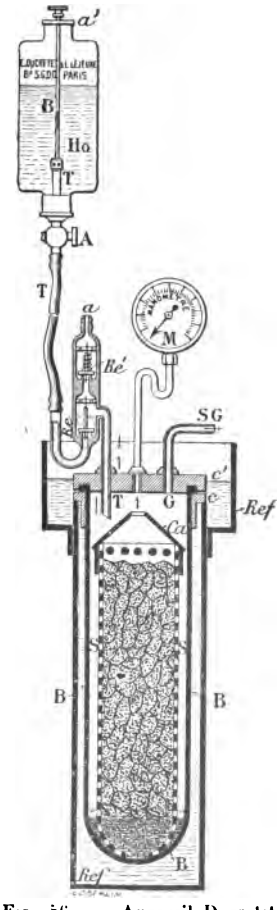


Fig. 56. — Appareil Ducretet et Lejeune, modèle pour faibles pressions.

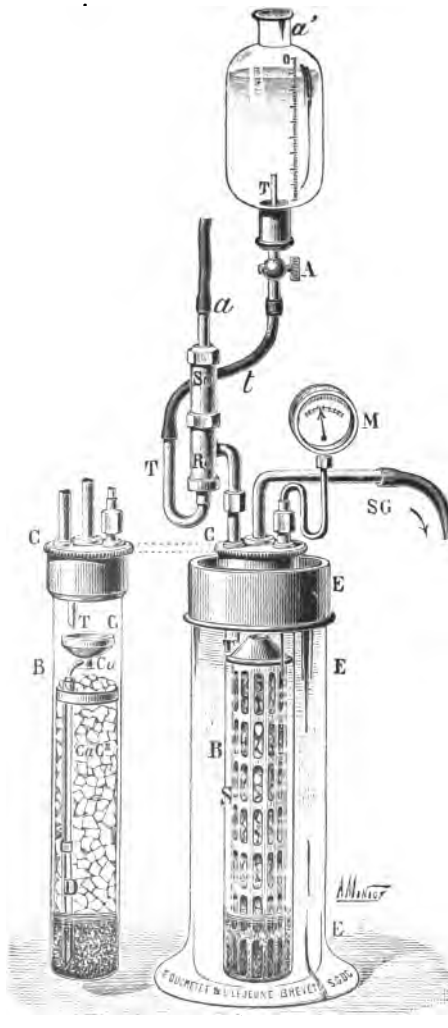


Fig. 57. — Appareil d'essais de Ducretet et Lejeune.

dès que la pression en G a repris sa valeur normale. *Ré* est une soupape de sûreté à réglage variable, qui laisse échapper le gaz par *a* lorsque la pression devient trop grande. Le gaz sort par S G ; il peut être recueilli dans un gazomètre ou employé directement à l'éclairage, par l'intermédiaire d'un réducteur de pression à débit constant. Cet appareil peut contenir 12 kilogrammes de carbure de calcium et fournir 3 600 litres de gaz.

Enfin l'appareil (fig. 57) est plus spécialement à l'usage des laboratoires : il est surtout destiné aux essais de réception du carbure de calcium, dont il fait connaître le rendement, ainsi qu'aux essais photométriques. Avec un réducteur de pression, il peut alimenter, pendant une heure et demie ou deux heures, un bec de 5 carcels.

Appareil Dickerson. — M. Dickerson, dont nous avons déjà fait connaître plusieurs appareils, a imaginé aussi des dispositifs produisant l'acétylène sous pression et fondés sur le principe du briquet à hydrogène. La figure 58 représente l'un de ces modèles. Le carbure est placé dans la moitié supérieure de la chambre AB, divisée en deux parties par un étranglement. La chaux formée tombe d'abord sur la grille O, puis au fond de la cuve C, d'où on l'enlève facilement à la pelle ou en la recevant dans un seau. L'alimentation d'eau se fait par le robinet à flotteur D, qui s'ouvre lorsque le niveau descend au-dessous de *a;* le liquide en excès s'écoule par le trop-plein Q. L'acétylène se dégage par le tube M, dont l'ouverture, placée à la hauteur

de la grille O, est assez large pour éviter l'entraînement du liquide; il s'échappe ensuite par Z, après

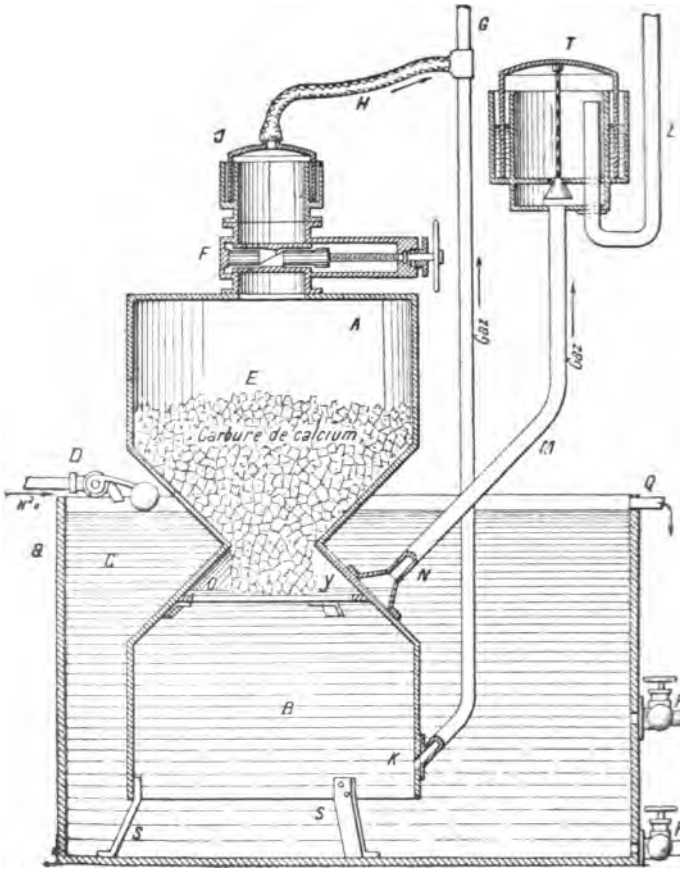


Fig. 58. — Appareil Dickerson produisant l'acétylène sans pression.

avoir été amené à la pression voulue par le régula-

teur T. On évite ainsi de faire traverser par le gaz la masse de carbure, qui serait attaquée par la vapeur d'eau qu'il contient. Quand la pression est trop forte, le régulateur T ferme la sortie du gaz.

La partie B du récipient intérieur est assez grande pour loger tout l'acétylène dû à la surproduction ; cependant, si cette capacité ne suffisait pas, l'excès de gaz serait conduit au dehors par le tube de sûreté K G. Le même tube reçoit, par l'intermédiaire de la cloche J à joint hydraulique et du tuyau flexible H, le gaz qui pourrait s'échapper de la chambre A. L'ouverture F, qui sert à introduire la charge, est d'ailleurs munie d'un fermeture à vis qui doit former joint étanche. R est un robinet de vidange.

Appareil Bullier. — Cet appareil n'est pas actuellement dans le commerce ; il a été spécialement imaginé pour les expériences relatives à l'éclairage des wagons de chemins de fer. Il se compose de deux cylindres inégaux *a* et *b*, en tôle d'acier, superposés (fig. 59) ; le cylindre inférieur est aux deux tiers rempli d'eau ; dans le second se loge un panier métallique perforé *c*, rempli de carbure de calcium, qu'on plonge progressivement dans l'eau, en faisant glisser à la main la tige verticale *n*, qui traverse un presse-étoupes. L'orifice de chargement est fermé par un anneau en caoutchouc et des boulons à rabattement avec écrous à oreilles. Avant de descendre la tige *n*, on projette quelques fragments de carbure par l'orifice *g*, que ferme un bouchon à vis *h*, afin de chasser l'air. Le dé-

gagement du gaz se fait à travers la conduite *i* et le dessiccateur. Lorsque la pression est trop forte, on peut faire écouler de l'eau par le robinet de purge *d*. A la sortie du dessiccateur, on faisait généralement

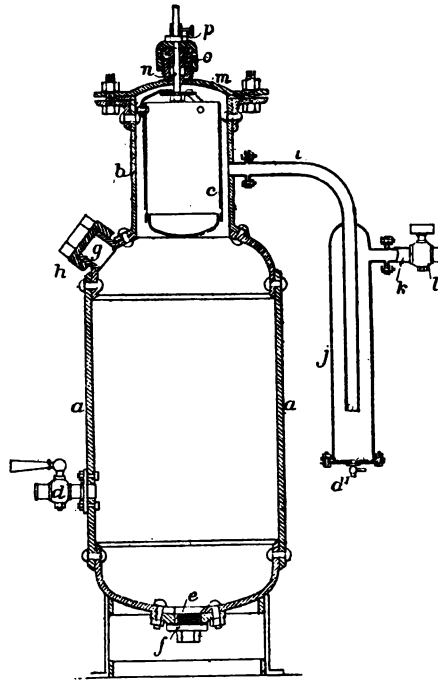


Fig. 59. — Appareil Bullier.

passer le gaz dans un condensateur-épurateur. Le trou de vidange *e* est fermé par un bouchon à vis. Le cylindre *a* peut être rendu mobile autour de deux tourillons, pour faciliter le nettoyage.

La figure 60 montre cette disposition, qui facilite le nettoyage. Le gaz s'échappe à travers le serpentin K et le dessiccateur H, où il abandonne son humidité.

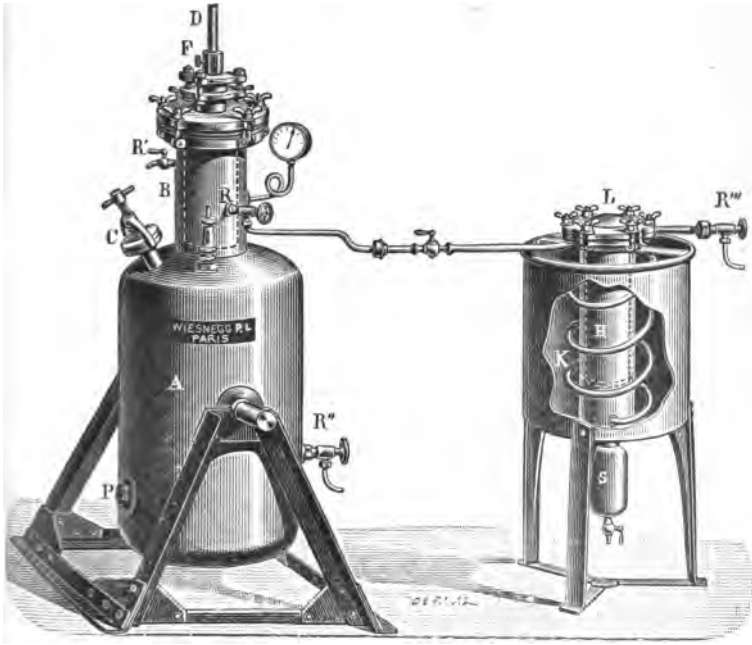


Fig. 60. — Appareil Bullier monté sur un axe horizontal.

Appareil de la Compagnie P.-L.-M. — Pour ses essais d'éclairage, cette Compagnie a fait construire un appareil qui produit le gaz sous une pression de 6 à 7 kilogrammes, ce qui permet de charger les réservoirs des voitures à 3 ou 4 kilogrammes. Le carbure est placé dans des paniers mobiles perforés, qu'on dis-

pose dans des cylindres G G′, de façon à ne pas obstruer les orifices *h h′* (fig. 61 et 62); les cylindres sont fermés par des couvercles à obturation étanche *g g′*, serrés par les vis *v* et *v′*. Pour produire le gaz, on envoie, à l'aide d'une pompe foulante P, de l'eau sous pression dans l'un ou l'autre des cylindres, par la par-

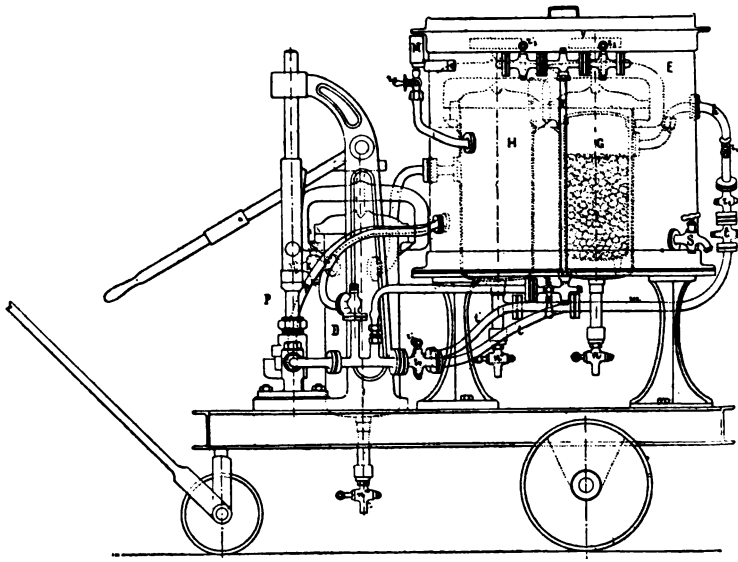


Fig. 61. — Appareil de la Compagnie P.-L.-M. construit sous la direction de M. Chaperon (Élévation).

tie inférieure. Le gaz se rend par les tuyaux *h* ou *h′* et *m* à l'épurateur H, contenant une solution à 50 0/0 de chlorure de calcium cristallisé dans l'eau, destinée à arrêter les phosphures et l'ammoniaque, puis dans un dessiccateur D, rempli de chlorure de calcium des-

séché, disposé sur plusieurs grilles superposées. Le robinet de sortie K est relié, par un tuyau de chargement, avec le robinet de la voiture à remplir. Les cylindres GG′ fonctionnent alternativement, de sorte qu'on peut avoir une production continue.

Les trois cylindres G, G′, H, sont munis de manomètres M, M′, M″ et de soupapes de sûreté *c*, *c*′,

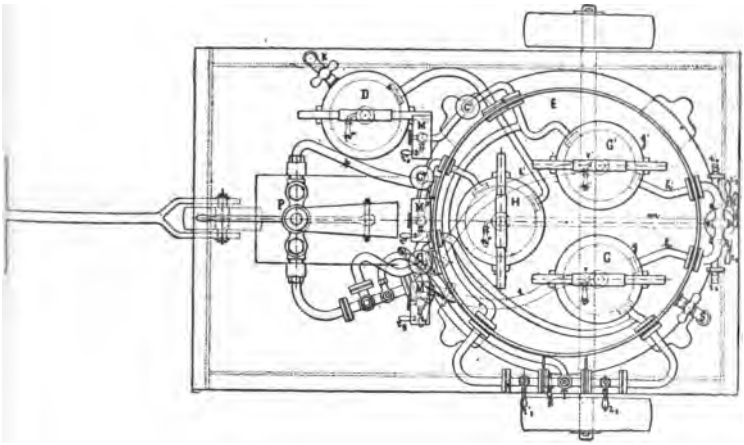


Fig. 62. — Appareil de la Compagnie P.-L.-M. construit sous la direction de M. Chaperon (Plan).

c″, réglées à 12 kilogrammes. Ils sont plongés dans une cuve E, remplie d'eau, qui les refroidit et sert aussi à alimenter la pompe P; le liquide recouvre complètement les cylindres, sauf pendant le chargement de l'un d'eux; le tube de niveau T indique le niveau de l'eau refoulée dans les gazogènes. L'appareil, disposé sur un chariot mobile, est facilement transportable; on le vide quand il n'est pas en service.

CHAPITRE XV.

ACÉTYLÈNE LIQUIDE.

Générateurs produisant l'acétylène liquide. — Appareil Dickerson et Suckert. — Appareil Pictet. — Conservation et emploi de l'acétylène comprimé ou liquéfié. — Robinet Ducretet et Lejeune. — Détendeur Dickerson. — Récipient de sûreté de M. Fournier.

Générateurs produisant l'acétylène liquide. — Les appareils qui servent à préparer l'acétylène sous pression pourraient aussi le fournir liquide. On peut même emmagasiner le gaz à basse pression dans un gazomètre et le liquéfier ensuite à l'aide d'une pompe. Il existe cependant quelques appareils imaginés spécialement pour la préparation du gaz liquéfié.

Appareil Dickerson et Suckert. — Dans cet appareil, le carbure de calcium est placé dans un générateur en fer forgé A (fig. 63), entouré d'une boîte B où circule un courant continu d'eau froide ; l'eau nécessaire à la réaction est amenée par le robinet 18, qu'on ouvre graduellement, et la rampe 33. L'acétylène humide se rend par le tube 3 au serpentin C, entouré d'un courant d'eau froide. De là l'eau de condensation retombe par 4^1 en E, tandis que le gaz arrive par 4 et 5 dans le dessiccateur F, où se trouvent de

larges tablettes recouvertes de carbure de calcium, qui arrête les dernières traces d'humidité. Le gaz ainsi desséché se liquéfie dans le condenseur G et se rend au récipient I, entouré d'un réfrigérant K, d'où on le fait passer dans une bouteille de fer L.

Au commencement de l'opération, on ferme les orifices de chargement, on ouvre les robinets 20^1, 20^2,

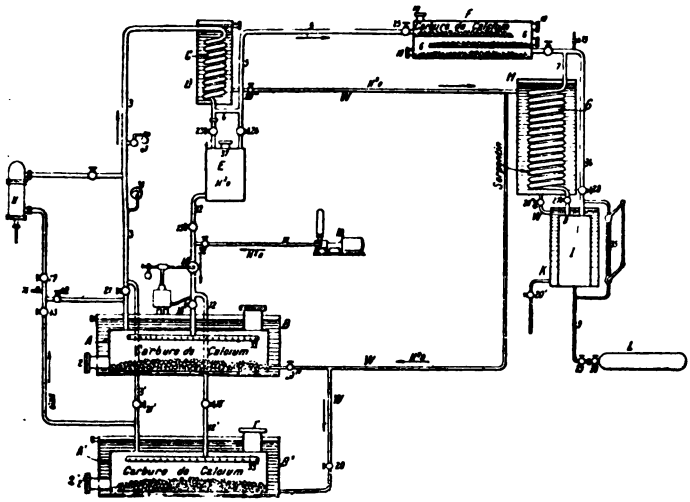


Fig. 63. — Appareil Dickerson et Suckert.

20^3, 20^4 et 20^5 des tuyaux W, afin d'envoyer l'eau dans les réfrigérants. On ferme le robinet d'échappement 14, les robinets de purge 15 et 16, les robinets d'écoulement 18 et 18^1, ainsi que les robinets de conduite auxiliaire 42 et 43 ; on ouvre les autres robinets et on enlève la bouteille L. A l'aide de la pompe M, on

remplit le réservoir E par les tuyaux 11 et 12 et le robinet 19 ; puis on fait arriver graduellement cette eau sur le carbure. On fait d'abord dégager un peu de gaz pour chasser l'air par le tuyau 9, fixé au fond du récipient I. L'appareil comprend en outre un second générateur A^1, ce qui permet de rendre la fabrication continue : on prépare l'un des récipients pendant qu'on se sert de l'autre.

Appareil Raoul Pictet. — M. Pictet prépare l'acétylène en faisant tomber dans l'eau, peu à peu, des fragments de carbure de calcium, soit par une trémie, soit par une sorte d'entonnoir *b*. Pour empêcher l'échauffement, la cuve AB (fig. 64), où se fait la réaction, est à double paroi, et, dans l'intervalle circule un courant d'eau ou d'un autre liquide, qu'on peut refroidir à volonté ; des chicanes obligent ce courant, qui entre en *a* et sort en a^1, à suivre la surface entière des parois. Au milieu de la cuve est un serpentin cc_1, où passe un autre courant de liquide réfrigérant. Le gaz s'accumule dans une cloche D placée au-dessus de la cuve ; il traverse ensuite une série d'appareils épurateurs, que nous décrivons (p. 202), et va enfin s'emmagasiner dans un gazomètre à huile lourde de pétrole.

La liquéfaction se fait progressivement, le gaz étant amené à des pressions de plus en plus grandes par deux ou trois cylindres, de dimensions décroissantes, agissant en quelque sorte suivant le procédé compound ; ces cylindres sont refroidis par une circulation d'eau,

et le serpentin où le gaz se liquéfie est maintenu entre — 20 et — 50° par l'évaporation d'un liquide volatil.

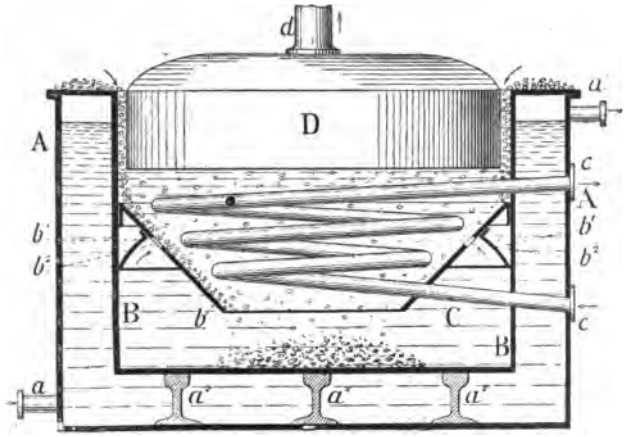


Fig. 64. — Appareil Raoul Pictet.

Conservation et emploi de l'acétylène comprimé ou liquéfié. — Il importe toujours de ne pas laisser échapper trop brusquement un gaz comprimé ou liquéfié ; cette précaution, comme nous le verrons plus loin, est surtout nécessaire avec l'acétylène. Un certain nombre de dispositifs peuvent être employés.

M. Pictet se sert de bonbonnes en acier au nickel, pouvant supporter des pressions de 250 kilogrammes, qu'on remplit du liquide seulement aux deux tiers, pour parer à la dilatation par la chaleur, qui est considérable ; dans ces conditions, la pression intérieure ne

dépasserait pas, d'après l'inventeur, 40 à 50 atmosphères en été.

Ces tubes sont munis d'un bouchon à soupape B, sur lequel on visse la pièce D, destinée à régler la sortie du gaz (fig. 65). Pour cela, on ouvre la soupape en

Fig. 65. — Fermeture et appareil de détente d'une bouteille à acétylène.

agissant sur le bouton F : le gaz s'échappe à travers le détendeur *a*, qui régularise le débit. Le manomètre *b* indique la pression.

Robinet Ducretet et Lejeune. — Les réservoirs de MM. Ducretet et Lejeune sont munis d'un robinet s'ou-

vrant par la manœuvre de la vis V (fig. 66); mais à l'intérieur se trouve une soupape S, appuyée sur son siège par un ressort, et percée de trous, comme on le voit sur le petit dessin séparé. Lorsqu'on remplit le récipient, le ressort fléchit sous la pression et la soupape

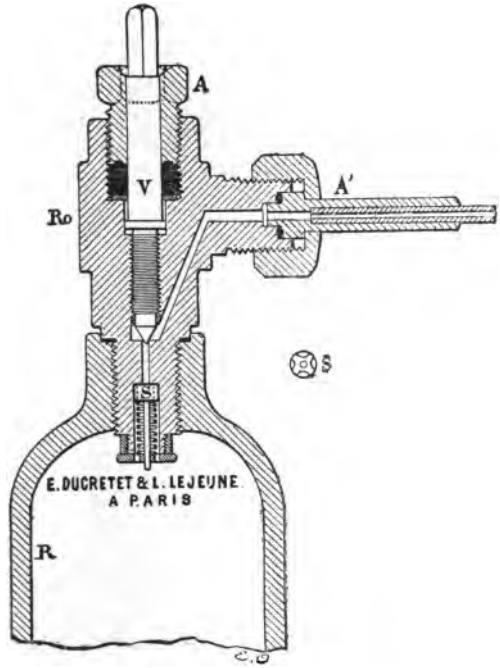


Fig. 66. — Robinet Ducretet et Lejeune.

laisse entrer le gaz ; mais, à la sortie, lors même qu'on soulève rapidement la vis V, le gaz ne peut s'échapper que par les ouvertures de la soupape, et par conséquent avec une vitesse limitée.

Détendeur Dickerson[1]. — M. Dickerson emploie le dispositif suivant (fig. 67). L'acétylène liquide s'échappe du réservoir A par le robinet R ; il traverse une suite de valves réductrices B B′, qui le ramènent à la pression voulue. On peut utiliser le froid résultant de cette détente à l'aide du serpentin S T, qui permet de refroidir de l'eau salée ou tout autre liquide. Le gaz se rend ensuite au gazomètre à pression constante M ; il est mélangé d'air en G, au moyen d'un dispositif spécial, puis envoyé aux brûleurs J.

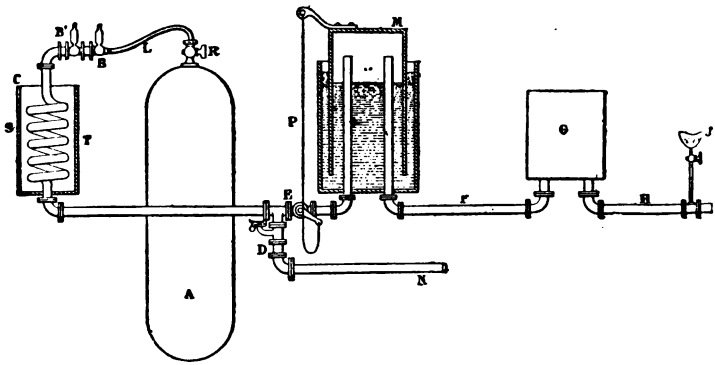


Fig. 67. — Appareil détendeur de M. Dickerson.

La cloche M commande, par l'intermédiaire d'une chaîne P, un robinet E, qui se ferme complètement lorsque, par suite du déréglage d'une des valves, la pression devient trop grande dans la canalisation. On évite ainsi les accidents qui pourraient se produire si

1. Figure empruntée au journal l'*Éclairage électrique*.

la pression dans les conduits et les appareils d'utilisation devenait supérieure à celle qu'ils peuvent supporter.

Récipient de sûreté de M. Fournier. — M. Fournier a présenté récemment à l'Académie des Sciences un

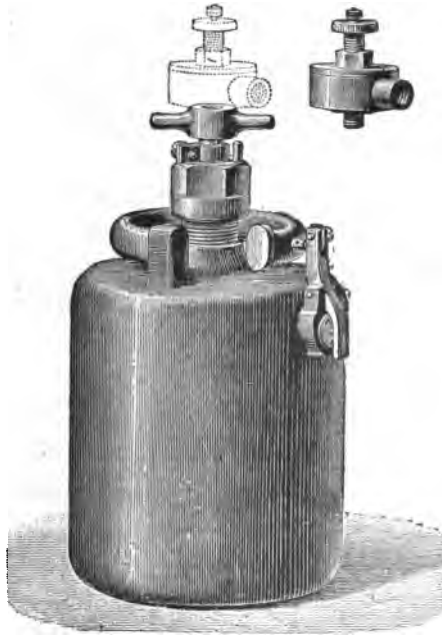


Fig. 68. — Récipient de sûreté de M. Fournier.

récipient de sûreté, destiné à contenir des gaz liquéfiés, et disposé de manière à éviter tout danger d'explosion provenant, soit de l'énorme dilatation du liquide, soit de toute autre cause.

« Les organes distinctifs de ce nouvel appareil sont:

1° le robinet pointeau ; 2° le dispositif de sûreté (fig. 68).

« A. ROBINET POINTEAU. — Le col du récipient est percé d'une ouverture axiale formée de deux parties cylindriques, dont l'inférieure forme saillie à l'intérieur de la première. Dans cette ouverture s'engage, à frottement, une douille de même forme, dont la partie supérieure, terminée par un évasement conique, aboutit à quelques millimètres au-dessous de l'orifice du col. La partie inférieure de cette douille est percée, à son extrémité, d'une ouverture cylindrique, que vient obturer un robinet pointeau, monté, par un filetage à pas très petits, sur la partie médiane de la douille. Ce robinet est percé, suivant son axe, d'un canal débouchant latéralement à la partie inférieure de la douille, dans l'espace annulaire formé par la paroi de celle-ci et le pointeau.

« L'étanchéité absolue de la douille et du robinet est assurée par une rondelle de plomb ou d'étoupe, placée entre les évasements coniques, en regard, de la douille et d'une bague mobile concentrique à la tige du pointeau. Ce joint est serré, par l'intermédiaire de cette bague, au moyen d'un écrou se vissant sur la partie extérieure du col du récipient.

« Les pièces du robinet pointeau sont donc simplement pressées les unes contre les autres, tant par la pression du gaz qui coopère à l'obturation que par l'écrou. Dans ces conditions, il n'est guère possible de développer, par leur manœuvre, un dégagement dan-

gereux de chaleur sur celles qui sont en contact immédiat avec le gaz. D'ailleurs, avec ce système de joint, l'effort à faire sur l'écrou, pour obtenir une étanchéité parfaite, est si faible qu'il suffit de serrer cet écrou à la main sans le secours d'aucune clef.

« En outre, étant donné le filetage du pointeau, il n'y a pas à craindre un dégagement trop brusque du gaz ; ce dégagement peut du reste être exactement limité par un arrêt placé sur l'écrou.

« B. Dispositif de sureté. — Ce dispositif consiste en un tube d'acier recourbé, analogue aux tubes des manomètres métalliques, et dont une des extrémités, ouverte et soudée sur le fond supérieur du récipient, le fait communiquer avec l'intérieur de ce dernier.

« L'autre extrémité, fermée et libre, peut ainsi obéir aux variations de pression qui se produisent dans l'intérieur du réservoir. Sous l'influence d'une augmentation déterminée de la pression, cette extrémité agit sur une vis fixée à la partie supérieure de l'un des bras d'un levier, mobile autour d'un axe perpendiculaire aux génératrices du réservoir, et dont l'autre bras vient faire ouvrir une soupape, entièrement métallique, fixée sur la paroi du récipient.

« Au moyen de la vis que porte le bras supérieur du levier, on peut réglementer, une fois pour toutes, le jeu de la soupape, et, en la faisant ouvrir pour telle pression que l'on voudra, compatible avec la résistance du réservoir et avec la pression du liquide qu'il contient, éviter tout accident dû à la pression. Mais là ne

se borne pas le rôle de la soupape, car elle sert en outre à éviter, par une manœuvre très simple, d'autres causes de dangers. Par exemple, il suffit de la tenir ouverte avec le doigt pendant le remplissage pour que l'air soit complètement expulsé de l'appareil avant que la pression y atteigne une valeur notable.

« Dans le cas où l'on ne demande à l'appareil qu'un débit inférieur, dans la plupart des cas, à 30 litres à l'heure, il fournit un dégagement régulier ; mais, pour un débit supérieur, il est nécessaire de le munir d'un régulateur si l'on veut un dégagement constant. » Ce régulateur est représenté à part sur la figure.

CHAPITRE XVI.

ACÉTYLÈNE DISSOUS.

Procédé Claude et Hess. — Expériences de MM. Berthelot et Vieille.

Procédé Claude et Hess. — Les accidents causés par l'emploi de l'acétylène liquide ont conduit MM. G. Claude et A. Hess à chercher un autre procédé d'utilisation. Ils se sont adressés à la solubilité, qui avait été négligée jusqu'à présent, et qui peut, comme pour tous les gaz, augmenter considérablement sous l'influence de la pression. Cette solubilité, déjà notable avec l'alcool, l'acide acétique, etc., devient très grande avec l'acétal, le méthylal, l'acétate d'éthyle, etc., et en particulier avec l'acétone ordinaire, que la facilité de sa fabrication rend préférable au point de vue industriel.

A 15° et sous la pression ordinaire, l'acétone dissout 25 fois son volume d'acétylène ; la solubilité augmente à peu près proportionnellement à la pression, de sorte que, à 12 atmosphères, elle devient égale à 300. 1 litre d'acétone, immobilisé ou non dans une matière poreuse telle que l'amiante, la pierre ponce, etc., dissout donc

un volume de gaz égal à celui que peut dégager la décomposition de 1 kilogramme de carbure de calcium de bonne qualité, et la pression développée est incomparablement plus faible qu'avec l'acétylène liquide. Le même avantage se conserve encore lorsque la température augmente ; ainsi, à 50°, la solubilité n'a diminué que de moitié : la pression ne fait donc que doubler[1], tandis que, avec l'acétylène liquide, elle passe de 24 à 70 atmosphères pour une élévation de température de 18° seulement. Il résulte de là, d'après les auteurs, que l'on peut se contenter, avec l'acétylène dissous, de récipients métalliques à parois très minces, peu dangereux en cas de rupture, très légers, et permettant par suite d'emmagasiner, par unité de poids total, plus d'acétylène que la liquéfaction. La dilatation de cette solution étant beaucoup moins grande que celle du gaz liquéfié, on peut remplir les récipients presque complètement sans crainte de rupture.

D'ailleurs, la dissolution est accompagnée d'une augmentation de volume, qui est seulement de 0,04 par atmosphère ; à 12 atmosphères, le volume augmente donc seulement de moitié. Il en résulte que, si l'on ajoutait de l'acétone à l'acétylène liquide, il y aurait une contraction considérable. Il n'est donc pas impossible qu'à une pression suffisante on arrive à emmagasiner, dans un volume donné, plus d'acétylène dissous que d'acétylène liquide.

1. Il faudrait ajouter la pression des vapeurs d'acétone.

On sait que, dans les siphons d'eau de Seltz, la pression est comprise entre 6 et 12 atmosphères. Pour l'acétylène, si l'on ne veut pas dépasser une pression initiale de 10 atmosphères, on peut enfermer dans un récipient métallique relativement léger, ayant environ 1 litre de capacité, 250 litres d'acétylène dissous dans 1 litre d'acétone. D'où les conclusions suivantes : un réservoir de 20 litres peut alimenter, pendant 30 heures, en hiver, 20 becs de 10 bougies. Un récipient de 1 litre, placé dans une lampe portative, peut fournir, pendant 30 heures environ, une intensité de 10 bougies (1 carcel). Un litre de pétrole donne la même intensité pendant un temps un peu moins long (27 heures environ), coûte plus cher (0 fr. 60 au lieu de 0 fr. 45, d'après le tableau qu'on trouvera plus loin), et oblige à des manipulations désagréables. Dans les lanternes de voitures, on peut remplacer la bougie ou la lampe à huile par un récipient contenant 0,2 litre d'acétylène dissous (50 litres de gaz) et donnant environ 6 bougies pendant 10 heures. Un tube de 100 centimètres cubes peut alimenter pendant toute une nuit (10 heures) la lanterne d'un bicycliste en donnant une intensité de 3 bougies environ.

L'utilisation du gaz dissous est extrêmement simple : il suffit d'ouvrir peu à peu un robinet placé à la partie supérieure du récipient et communiquant avec les appareils à alimenter pour que le gaz se dégage sous forme de bulles ou par simple échange à la surface. On peut aussi se servir d'un détendeur. Le liquide épuisé,

qui reste saturé pour la température ambiante, peut recevoir une nouvelle charge de gaz sous pression, aussi facilement utilisable.

Enfin, les précédents connus dans l'étude des matières explosives font penser que les caractères explosifs résultant de l'origine endothermique de l'acétylène sont, sinon totalement annihilés, du moins fortement atténués par le fait de sa dissolution dans un liquide inerte. Ainsi, MM. Claude et Hess ont pu maintenir indéfiniment, dans une solution d'acétylène dans l'acétone sous trois atmosphères, un fil de platine porté au rouge vif par un courant électrique.

Expériences de MM. Berthelot et Vieille. — Le seul reproche qu'on puisse faire à l'acétone, c'est que son point d'ébullition est peu élevé; il se trouve en effet à 56°. Il est possible que, pendant l'été, des bonbonnes remplies d'acétylène dissous se trouvent quelquefois portées à une température voisine de ce point; il importait de savoir quelle valeur atteint alors la pression intérieure, et d'étudier plus complètement les propriétés explosives de la dissolution. C'est ce qui a été fait tout récemment par MM. Berthelot et Vieille[1].

Ces savants ont déterminé d'abord les pressions produites dans un récipient de 824 centimètres cubes, contenant 301 grammes ou 376 centimètres cubes, puis 315 grammes ou 394 centimètres cubes d'acétone, saturé d'acétylène à 15° sous des pressions initiales

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1897.

de 7 kilogrammes (1re série), 12,5 kilogrammes (2e série) et 20,5 kilogrammes environ (3e série).

En augmentant progressivement la température, on a obtenu les résultats suivants:

1re SÉRIE		2e SÉRIE		3e SÉRIE	
Températures	Pressions	Températures	Pressions	Températures	Pressions
7°8	5kg60	6°4	10kg34	2°8	16kg17
14 0	6 74	14 0	12 25	13 0	19 98
26 3	8 70	19 9	14 16	19 9	22 63
35 7	10 55	36 0	19 46	25 0	24 76
50 1	13 94	50 5	22 64	36 0	30 49
59 6	16 30	60 1	28 36	50 5	33 21
74 5	20 52				
Poids d'acétone.. .	301gr		315gr		315gr
Poids d'acétylène. .	69		118		203

Ces nombres montrent, comme l'avaient indiqué MM. Claude et Hess, que le volume de gaz dissous croît à peu près proportionnellement à la pression, du moins entre 0° et 35°.

Ils conduisent en outre à des conséquences importantes. Ceux de la première série, qui est la plus étendue, peuvent être représentés par une expression de la forme

$$\log F = a + b\,\alpha^t$$

où

Purification de l'acétylène. — Certains inventeurs ont joint aux appareils producteurs d'acétylène, soit de simples dessiccateurs, soit des récipients contenant des substances destinées à purifier le gaz. Ainsi, M. Bon traite le gaz par le sulfate de cuivre, qui peut retenir l'hydrogène sulfuré et arsénié, et par le carbure de calcium, qui le dessèche. Quant au gaz ammoniac, il peut être facilement arrêté par l'eau, dans laquelle il est extrêmement soluble.

Ces dispositifs entraînent toujours une complication ; en outre, ils nous paraissent destinés à rassurer le consommateur plutôt qu'à épurer le gaz : les impuretés dépendant de la composition du carbure, il faudrait, dans chaque cas particulier, analyser le gaz pour déterminer le mode de purification auquel il doit être soumis.

M. Raoul Pictet soumet l'acétylène, avant de le liquéfier, à une épuration qui repose sur l'emploi des basses températures, et qui consiste à faire passer le gaz d'abord dans une solution concentrée de chlorure de calcium et dans un bain d'acide sulfurique refroidis, puis dans une dissolution de sels de plomb à la température ordinaire. Le chlorure de calcium est contenu dans la cuve B (fig. 69), refroidie à une température de — 20° à — 40° par un liquide réfrigérant qui circule dans l'enveloppe A. L'acide sulfurique, à 40 0/0, est placé dans la seconde cuve B^1 et refroidi à — 20° à — 60°, soit à l'aide du même liquide, soit au moyen d'une autre substance, circulant dans l'enveloppe A^1.

La cuve B^2 renferme le sel de plomb. L'acétylène est amené par les tubes 1, 2, 3; il s'échappe à la partie inférieure de chaque cuve, traverse des plateaux à rebords percés de nombreux trous, pour augmenter la surface de contact, et sort à la partie supérieure. L'épuration s'achève dans une colonne E, remplie de chlorure de calcium cristallisé.

La première solution arrête, d'après l'auteur, l'ammoniaque et les ammoniures métalliques, et l'acide sulfurique retient les autres impuretés. En outre, le refroi-

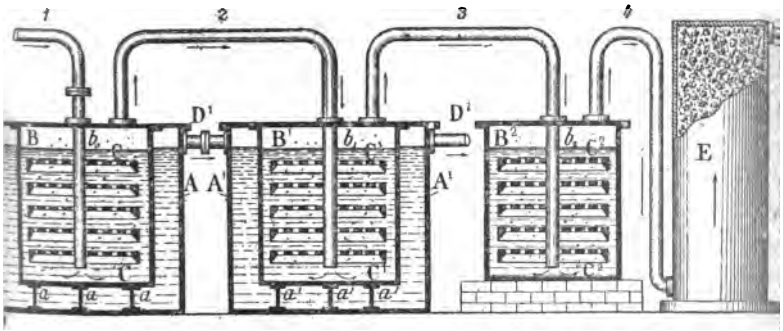


FIG. 69. — Purification de l'acétylène (procédé Raoul Pictet).

dissement joue le rôle « d'un filtre ou d'un tamis, laissant passer l'acétylène pur au travers des mailles fines du treillis et retenant toutes les impuretés ».

Ce procédé a l'inconvénient d'exiger des appareils compliqués et d'être par suite très coûteux. De plus, pour se rendre un compte exact de son efficacité, il serait intéressant d'avoir une analyse exacte du gaz

avant son entrée dans l'appareil purificateur et après sa sortie; ces données seraient indispensables pour qu'on puisse juger de l'utilité et de l'efficacité de cette méthode.

En résumé, il est facile d'obtenir de l'acétylène pur; il suffit d'employer du carbure de calcium de bonne qualité et d'adopter un appareil générateur satisfaisant aux conditions indiquées plus haut. On pourra ainsi, ce qui est le plus simple, se dispenser de toute purification. Ainsi, dans les essais d'éclairage effectués par les Compagnies de chemins de fer, le gaz préparé par M. Bullier, et qui a été analysé dans trois laboratoires différents, contenait 99,5 0/0 d'acétylène.

CHAPITRE XVIII.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE L'ACÉTYLÈNE.

Caractères physiques. — Solubilité. — Liquéfaction. — Propriétés de l'acétylène liquide.

Caractères physiques. — Les propriétés de l'acétylène peuvent varier un peu avec le mode de préparation, qui introduit parfois des matières étrangères. Ainsi, le gaz préparé par l'acétylure cuivreux et l'acide chlorhydrique donne, d'après M. Villard, un peu d'acide chlorhydrique en brûlant dans l'oxygène; en outre, il noircit la potasse fondue. La dessiccation sur le chlorure de calcium peut aussi amener des impuretés.

L'acétylène est un gaz incolore. D'après M. Moissan, il possède, lorsqu'il est pur, une odeur éthérée agréable : ordinairement, il a une odeur alliacée, qui proviendrait des gaz étrangers produits par l'action de l'eau sur les impuretés du carbure de calcium et notamment du phosphure d'hydrogène. Sa densité par rapport à l'air est 0,92 ; 1 litre pèse, dans les conditions normales, 1,169 grammes; l'acétylène est donc un peu plus léger que l'air et beaucoup plus dense que le gaz d'éclairage.

Solubilité. — L'eau en dissout à peu près son volume (11 volumes de gaz pour 10 volumes d'eau à 20°), le sulfure de carbone également. A 0° et sous la pression de 4,65 atmosphères, le coefficient de solubilité dans l'eau s'élève à 1,6. Le pétrole en dissout 1,5 volume, l'essence de térébenthine 2 volumes, la benzine et le chloroforme 4 volumes, l'acide acétique et l'alcool 6 volumes. L'acétal, le méthylal, l'acétate d'éthyle, et surtout l'acétone en dissolvent de grandes quantités. Ce dernier liquide peut absorber 25 fois son volume de gaz à 15° et sous la pression atmosphérique. Inversement l'eau salée n'en dissout que $\frac{1}{20}$ de son volume, propriété qui permet d'utiliser ce liquide dans les gazomètres à acétylène; les diverses dissolutions salines, l'eau saturée de gaz d'éclairage n'en dissolvent que de très petites quantités.

Liquéfaction. — L'acétylène a été liquéfié par M. Cailletet, en 1877, à l'aide de son appareil bien connu. A 18°, on voit, sous la pression de 83 atmosphères, de nombreuses gouttelettes se former et couler contre les parois intérieures du tube.

D'après M. Cailletet, la liquéfaction se produit aux pressions suivantes :

TEMPÉRATURES	PRESSIONS
+ 1°	48 atmosphères
2,5	50 —
10	63 —
18	83 —
25	94 —
31	103 —

La liquéfaction de l'acétylène a été étudiée de nouveau dans ces dernières années.

La température critique est 37°, la pression critique 68 atmosphères. Il se liquéfie, sous la pression atmosphérique, à — 82°, c'est-à-dire à peu près à la même température que le gaz carbonique ; au-dessus de cette température, il se liquéfie toujours sous une pression un peu plus faible que ce dernier gaz, ainsi que le montre le tableau suivant, emprunté à M. Andrews.

ACÉTYLÈNE		ACIDE CARBONIQUE	
Température	Pression	Température	Pression
+ 20°	39 atm 76	+ 20°	58 atm 84
13	32 77	11	52 17
5	25 48	5	40 47
0	21 53	0	35 40
— 10	17 06	— 10	26 76
— 23	11 01	— 20	19 93
— 30	9	— 30	12 7
— 82	1	— 81	1

La densité, rapportée à l'eau, de l'acétylène liquide est, à différentes températures

TEMPÉRATURE	DENSITÉ
+ 35°8	0,364
16 4	0,420
0	0,451
— 7	0,460

M. Villard, en 1895, a étudié de nouveau la liquéfaction de ce gaz. Au-dessous de — 60°, les forces élastiques maxima étaient mesurées au moyen d'une colonne de mercure ; au-dessus de cette température,

on se servait d'un grand manomètre métallique de faible capacité. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant.

TEMPÉRATURE		PRESSION
+ 37°	Pression critique.	68 atm 0
20	Etat liquide.	42 8
15	»	37 9
11,5	»	34 8
5,8	»	30 3
0	»	26 05
— 23,8	»	13 2
40	»	7 7
50	»	5 3
60	»	3 55
70	»	2 22
81	Point de fusion.	1 25
85	Etat solide.	1 00
90	»	0 69

Enfin, M. Raoul Pictet a indiqué les nombres qui suivent :

TEMPÉRATURE	PRESSION
+ 47°	68 atm
36 5	48
27 6	38 5
19 5	33 5
14 1	29
9 5	27
1 6	21 5

Propriétés de l'acétylène liquide. — D'après M. Cailletet, l'acétylène liquide est incolore, très mobile, très réfringent, environ deux fois plus léger que l'eau, dans laquelle il se dissout en toute proportion. Il dissout la paraffine et les matières grasses. Vers 0°,

il donne avec l'eau un composé blanc, neigeux, qui se décompose avec dégagement de nombreuses bulles gazeuses par la moindre élévation de température ou le moindre abaissement de pression. Évaporé à l'air, il se refroidit jusqu'à — 85° et se solidifie en une neige blanche, comme l'acide carbonique. Cette neige fond à — 81°.

La liquéfaction de l'acétylène peut être réalisée dans l'appareil de M. Cailletet ou les appareils employés pour l'acide carbonique. Nous avons indiqué plus haut des appareils industriels destinés à cet usage.

CHAPITRE XIX.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DE L'ACÉTYLÈNE.

Propriétés chimiques. — Action de la chaleur, des étincelles électriques et du choc. — Action de l'hydrogène. — Action du chlore, du brome, de l'iode. — Action de l'oxygène et des oxydants. — Action de l'azote. — Action des métaux alcalins et alcalino-terreux. — Action du fer, du nickel et du cobalt. — Autres dérivés métalliques. — Action des hydracides. — Action de l'ammoniaque. — Action de l'acide sulfurique. — Composition.

Propriétés chimiques. — L'acétylène a pour formule C^2H^2. Il contient, en poids, 92,3 0/0 de carbone et 7,7 d'hydrogène. De tous les hydrocarbures, c'est le plus riche en carbone et le seul qui contienne exactement son volume d'hydrogène.

L'acétylène est *endothermique,* c'est-à-dire qu'il se forme, à partir de ses éléments, avec absorption de chaleur ; la chaleur de formation est en effet, à partir du carbone amorphe, — 60,5 calories.

Cette propriété, qu'il partage avec le bioxyde d'azote et le cyanogène, lui permet d'agir, comme eux, à la manière d'un véritable radical. Son énergie est supérieure à la somme de celles de ses éléments libres, de sorte qu'il doit dégager de la chaleur dans la plupart de ses réactions. Cette circonstance explique la plasti-

cité de sa molécule, la facilité avec laquelle il peut se polymériser ou se combiner avec un grand nombre de corps.

Action de la chaleur, des étincelles électriques et du choc. — Malgré sa grande stabilité, l'acétylène, chauffé au rouge sombre dans une cloche courbe (fig. 70) se condense et engendre un certain nombre de polymères, tels que la benzine C^6H^6, le styrolène C^8H^8;

Fig. 70. — Synthèse de la benzine.

la combinaison de ces corps entre eux produit de la naphtaline $C^{10}H^8$ et de l'anthracène $C^{14}H^{10}$.

$$C^8H^8 + C^2H^2 = C^{10}H^8 + 2H$$

Ces corps forment dans la cloche des fumées blanches, qui se condensent quand on cesse de chauffer.

Dans un tube de porcelaine chauffé au rouge vif, l'acétylène se décompose presque complètement en

charbon et hydrogène ; on obtient en même temps un peu de méthane et d'éthylène.

M. Lewes a déterminé, avec le couple thermo-électrique de M. Le Chatelier, la température à laquelle l'acétylène se décompose ; on faisait passer le gaz dans des tubes peu fusibles, qu'on pouvait chauffer jusqu'à 1000°. L'acétylène pur s'est décomposé vers 780° ; en le mélangeant de 10 ou 20 0/0 d'hydrogène, la température s'est élevée à 900 et 1000°, soit d'environ 100° pour chaque addition du dernier gaz.

Une série prolongée d'étincelles électriques produit aussi une décomposition complète ; il reste un volume d'hydrogène égal à celui du gaz primitif, et les électrodes sont recouvertes de longs filaments de charbon.

Cette facile décomposition par l'étincelle paraît en contradiction avec la synthèse produite par l'arc voltaïque, mais il n'y a là qu'une anomalie apparente. « En effet, dit M. Berthelot, il est impossible de détruire complètement l'acétylène par l'étincelle : bientôt il s'établit un équilibre entre les deux actions contraires, de telle façon qu'on obtient un mélange de 7 volumes d'hydrogène et de 1 volume d'acétylène, mélange stable désormais, quelle que soit la durée ultérieure du passage des étincelles électriques. »

Sous l'action de l'effluve, l'acétylène se condense rapidement, sans résidu gazeux : il se forme un liquide et un corps solide, couleur lie de vin, très dur, d'apparence vitreuse. Le polymère liquide est un corps

complexe renfermant surtout du styrolène. Le solide est un polymère très condensé ; chauffé en couches minces dans une atmosphère d'azote, il se décompose brusquement avec dégagement de chaleur : il se forme un peu de styrolène exempt de benzine, un carbure goudronneux et un résidu charbonneux encore hydrogéné.

M. Berthelot a encore décomposé l'acétylène en faisant détoner, dans un eudiomètre en verre épais rempli de ce gaz, une petite cartouche de fulminate de mercure ; les parois se recouvrent de noir de fumée. La décomposition est si rapide que le papier de la cartouche est à peine brûlé.

L'acétylène étant endothermique, sa décomposition se fait avec dégagement de chaleur, 60,5 calories par molécule.

Action de l'hydrogène. — L'acétylène, étant un carbure non saturé, peut se combiner directement avec un grand nombre de corps simples. Si on le chauffe au rouge, dans une cloche courbe, avec de l'hydrogène, les deux gaz se combinent à volumes égaux et avec condensation de moitié pour former l'éthylène C^2H^4. Avec un volume double d'hydrogène, on peut obtenir l'éthane C^2H^6.

La combinaison se fait mieux avec l'hydrogène naissant, par exemple en attaquant l'eau ammoniacale par le zinc en présence de l'acétylure cuivreux : on obtient l'éthylène, mélangé avec un excès d'hydrogène et un peu d'acétylène non attaqué.

On a encore de meilleurs résultats en faisant absorber l'acétylène par une dissolution de protoxyde de chrome dans l'ammoniaque, additionnée de chlorure d'ammonium. L'éthylène se dégage en bulles fines ; la réaction peut être représentée par la formule suivante :

$$C^2H^2 + 2CrO + H^2O = C^2H^4 + Cr^2O^3$$

L'éthane peut s'obtenir aussi en combinant l'acétylène avec l'acide iodhydrique et décomposant ensuite le composé formé par une solution concentrée du même gaz, à la température de 280°.

$$C^2H^2, 2HI + 2HI = C^2H^6 + 2I$$

Action du chlore. — Le chlore n'agit pas sur l'acétylène dans l'obscurité, mais, sous l'influence de la lumière, le mélange détone souvent : il se forme de l'acide chlorhydrique et un dépôt de charbon.

$$C^2H^2 + 2Cl = 2HCl + 2C$$

M. Moissan est parvenu à montrer cette action d'une manière élégante et sans aucun danger : il suffit de projeter dans l'eau saturée de chlore des petits morceaux de carbure de calcium ; l'acétylène se dégage et s'enflamme au contact du chlore.

Quelquefois au contraire la réaction se produit lentement, sans détonation, et donne deux composés d'addition, les chlorures d'acétylène $C^2H^2Cl^2$ et $C^2H^2Cl^4$.

Le protochlorure s'obtient plus facilement par l'intermédiaire du perchlorure d'antimoine : chauffé dou-

cement, ce corps absorbe une grande quantité d'acétylène et forme une combinaison cristallisée $C^2H^2, SbCl^5$, qui, par distillation, se trouve ramenée à l'état de trichlorure.

$$C^2H^2, SbCl^5 = SbCl^3 + C^2H^2Cl^2$$

Avec un excès de perchlorure d'antimoine, on obtient le perchlorure d'acétylène.

$$C^2H^2, SbCl^5 + SbCl^5 = C^2H^2Cl^4 + 2SbCl^3$$

Il faut opérer avec précaution, si l'on veut éviter les explosions. On peut séparer les deux liquides par distillation fractionnée.

Le protochlorure d'acétylène est un liquide neutre, très mobile, d'une odeur éthérée et d'une saveur sucrée, insoluble dans l'eau et plus dense que ce liquide. Il bout à 55° et peut être distillé sans altération.

En tube scellé, la chaleur le décompose lentement, vers 350°, avec dépôt de charbon :

$$C^2H^2Cl^2 = 2HCl + 2C$$

C'est la même réaction qui accompagne l'explosion se produisant d'ordinaire quand on expose à la lumière un mélange de chlore et d'acétylène.

La potasse aqueuse, vers 200°, ou la potasse alcoolique, vers 100°, décomposent ce chlorure en formant de l'acétate de potassium.

$$C^2H^2Cl^2 + 3KOH = 2KCl + C^2H^3KO^2 + H^2O$$

Le perchlorure est un liquide incolore, très fluide,

ayant une odeur analogue à celle du chloroforme et une saveur sucrée. Il fond vers 147° sans se décomposer.

Le chlore, surtout sous l'influence de la lumière, le transforme en trichlorure de carbone :

$$C^2H^2Cl^4 + 4Cl = 2HCl + C^2Cl^6.$$

En vase clos, à 180°, l'eau le décompose lentement avec production d'acide chlorhydrique.

La potasse, en solution alcoolique, et par une action ménagée, le décompose et donne du chlorure d'acétylène chloré.

$$C^2H^2Cl^4 + KOH = C^2HCl, Cl^2 + KCl + H^2O$$

La potasse, dissoute dans l'eau ou dans l'alcool, peut aussi le transformer en acide glycollique $C^2H^4O^3$.

Vers 200°, il se transforme en protochlorure chloré

$$C^2H^2Cl^4 = C^2HCl^3 + HCl$$

Il se forme ensuite, à 360°, du chlorure de Julin ou benzine perchlorée, qui peut être regardé comme un polymère de l'acétylène perchloré C^2Cl^2

$$3C^2H^2Cl^4 = C^6Cl^6 + 6HCl$$

On voit que le chlore et l'acétylène ne donnent pas de substitutions directes. Mais l'acétylène monochloré C^2HCl peut s'obtenir indirectement (O. Wallach et O. Bischof) en décomposant l'acide acrylique $C^3H^4O^2$ par les alcalis. Il se décompose spontanément en acide chlorhydrique et charbon.

En passant dans le brome, ce gaz donne un composé cristallisable C^2HClBr^4.

Le chlorure d'argent ammoniacal et le réactif cuivreux absorbent l'acétylène monochloré pour former des précipités très explosifs.

Action du brome. — En faisant passer un courant d'acétylène dans du brome recouvert d'une couche d'eau, M. Berthelot a obtenu directement le protobromure $C^2H^2Br^2$.

Ce composé s'obtient aussi en chauffant le perbromure avec l'argent ou le mercure à 180°, ou mieux encore en faisant agir le zinc sur une solution alcoolique de ce corps

$$C^2H^2Br^4 + Zn = ZnBr^2 + C^2H^2Br^2$$

Le protobromure est un liquide neutre, incolore, oléagineux, dont l'odeur rappelle celle du bromure d'éthylène. Il bout au-dessus de 100°, et se décompose aussitôt avec dégagement d'acide bromhydrique ; en même temps, la température s'élève jusqu'à 250°.

M. Reboul a obtenu le perbromure d'acétylène en faisant agir ce gaz sur le brome recouvert d'eau, comme on le fait pour le précédent. On obtient toujours le second lorsque la température s'élève.

L'acétylène attaque la vapeur de brome avec un grand dégagement de chaleur ; outre le perbromure, il se forme du perbromure d'acétylène bromé C^2HBr^3, Br^2 et un peu d'une substance cristallisée, fondant au-dessus de 150°, qui se sépare lorsqu'on porte le mélange à — 20°.

Le perbromure d'acétylène est un liquide incolore, de densité 2,248. Il est soluble dans l'alcool, l'éther, le chloroforme, le sulfure de carbone, l'aniline. Il peut être distillé dans un courant de vapeur d'eau.

Vers 190°, il se décompose en éthylène tribromé C^2HBr^3 et acide bromhydrique. Il est décomposé par une solution alcoolique d'ammoniaque en bromure d'ammonium et en éthylène tribromé

$$C^2H^2Br^4 + AzH^3 = C^2HBr^3 + AzH^4Br$$

La même réaction s'obtient avec l'acétate de potassium.

Le chlore attaque le perbromure d'éthylène sous l'influence du soleil ou de la lumière diffuse : il se forme du chlorure d'éthylène chlorobromé, isomère du bromure d'éthylène perchloré (Bourgoin) :

$$C^2H^2Br^4 + 6Cl = C^2Cl^4Br^2 + 2HCl + 2Br$$

En vase clos, le brome se substitue à l'hydrogène et donne le perbromure bromé C^2HBr^5, en chauffant pendant 2 jours à 165°.

Action de l'iode. — Chauffés en vase clos, à 100°, pendant environ 20 heures, l'acétylène et l'iode donnent un composé cristallin ; c'est le protoiodure, appelé aussi diiodure d'acétylène, $C^2H^2I^2$. Cet iodure se présente en longues aiguilles flexibles, cireuses, d'une odeur forte et caractéristique. A la lumière solaire, il jaunit peu à peu. Il est très volatil et fond vers 70°. Il est soluble dans l'alcool bouillant, l'éther, le chlo-

roforme, le sulfure de carbone, etc. L'eau mère alcoolique contient un dérivé iodé liquide, de même composition, qui se concrète un peu au-dessous de zéro.

En ajoutant avec précaution de l'acétylure d'argent dans une dissolution éthérée d'iode, tant qu'elle se décolore par évaporation, puis évaporant, on obtient le periodure d'acétylène $C^2H^2I^4$.

Ce composé est jaune, cristallisé, d'une odeur irritante. Il est très soluble dans l'alcool, l'éther, la benzine, le sulfure de carbone, le chloroforme. Il est peu volatil et fond vers 74° en se décomposant partiellement (Max Berend).

Il régénère l'acétylène lorsqu'on le chauffe avec une dissolution alcoolique de potasse caustique.

Le brome le transforme en bromoiodure de carbone $C^2Br^2I^2$: de l'iode se dépose et de l'acide bromhydrique se dégage.

A ces composés se rattache le biiodure de carbone ou diiodoforme C^2I^4, fabriqué industriellement.

Action de l'oxygène et des oxydants. — Enflammé au contact de l'air, l'acétylène brûle avec une flamme rougeâtre et fuligineuse, en produisant, comme tous les hydrocarbures, de la vapeur d'eau et du gaz carbonique.

$$C^2H^2 + O^5 = 2CO^2 + H^2O$$

Un mélange, fait dans ces proportions, détone avec la plus grande violence.

S'il n'y a qu'une quantité d'air insuffisante, la com-

bustion est incomplète et il se forme en outre de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone. Cette propriété de l'acétylène étant d'une importance capitale au point de vue des applications industrielles, nous l'étudierons plus loin en détail.

En présence d'une solution alcaline, les deux gaz se combinent dès la température ordinaire ; il se forme un acétate

$$C^2H^2 + KOH + O = C^2H^3KO^2$$

La même réaction s'obtient plus facilement en faisant agir une solution d'acétylène sur l'acide chromique étendu ; si celui-ci est concentré, la température s'élève et l'on obtient les acides formique et carbonique.

Le permanganate de potassium, additionné d'un excès de potasse, versé lentement dans un flacon d'acétylène, se décolore par l'agitation, en donnant de l'acide oxalique et du bioxyde de manganèse hydraté.

$$C^2H^2 + O^4 = C^2H^2O^4$$

L'acétylène pouvant être formé à partir de ses éléments, ces réactions constituent la synthèse des acides acétique, formique et oxalique.

On peut même obtenir l'aldéhyde en chauffant au bain-marie, pendant quelques jours, l'acétylène avec de l'eau et du bromure de mercure (Kutscheroff).

$$C^2H^2 + H^2O = C^2H^4O$$

Action de l'azote. — L'azote, qui se combine si difficilement avec la plupart des corps simples, s'unit directement avec l'acétylène, à volumes égaux, sous l'influence des étincelles électriques : c'est la synthèse de l'acide cyanhydrique

$$C^2H^2 + 2Az = 2HCAz$$

Il résulte de là que les gaz et les vapeurs capables d'engendrer l'acétylène sous l'influence de l'étincelle électrique doivent donner de l'acide prussique en présence de l'azote ; M. Berthelot a vérifié cette conséquence.

Action des métaux alcalins et alcalino-terreux. — Ces métaux peuvent se substituer à l'hydrogène pour former de véritables acétylures. Ainsi le potassium, chauffé avec l'acétylène dans une cloche courbe, prend feu et donne d'abord C^2HK, puis C^2K^2. Le produit est une masse noirâtre, qui devient d'un jaune bronzé lorsque la température s'élève. En opérant brusquement, on peut provoquer une explosion.

Ces acétylures sont décomposables par l'eau avec un léger dépôt de charbon.

$$C^2K^2 + 2H^2O = C^2H^2 + 2KOH$$

L'action du sodium a été reprise tout récemment par M. de Forcrand, puis par M. Matignon. Ce dernier a vu que, entre son point de fusion et 190°, le sodium décompose l'acétylène en donnant de l'acétylène monosodé

$$C^2H^2 + Na = C^2HNa + H$$

Au-dessus de 210°, on obtient l'acétylène disodé ou carbure de sodium

$$C^2H^2 + 2Na = C^2Na^2 + 2H$$

A partir de 210 à 220°, le premier corps se décompose en carbure et acétylène

$$2C^2NaH = C^2H^2 + C^2Na^2$$

Dans les mêmes conditions de température, le sodium attaque ce corps et le transforme en carbure

$$C^2HNa + Na = C^2Na^2 + H$$

Ces réactions ne réussissent qu'avec certains tours de main. Ainsi, en faisant passer l'acétylène sur du sodium, convenablement chauffé, on n'obtient qu'une masse charbonneuse.

Pour préparer l'acétylène monosodé, on fait arriver le gaz, bien pur et bien sec, au centre d'un ballon contenant le sodium. Ce ballon est maintenu à la surface d'un bain d'huile, qu'on chauffe progressivement jusqu'à 180°. Dès que le sodium commence à fondre, on agite et l'on continue jusqu'à la fin de l'opération, pour maintenir la température uniforme. On obtient ainsi une poudre blanche et bien homogène.

Pour avoir le carbure de sodium, on opère de même, mais on chauffe rapidement à 220° et l'on se maintient entre 220 et 230° ; l'acétylène monosodé se transforme ainsi en carbure C^2Na^2.

Ces deux composés se détruisent au contact de l'eau en reproduisant l'acétylène.

Le magnésium donne aussi un acétylure, mais moins facilement.

Enfin les carbures de calcium, de baryum, de strontium, dont nous avons indiqué plus haut la préparation et les propriétés, peuvent aussi être regardés comme des acétylures ; nous avons vu que le premier de ces corps a pris aujourd'hui une importance capitale pour la préparation de l'acétylène.

Action du fer, du nickel et du cobalt. — M. Berthelot, qui a obtenu le premier les acétylures alcalins dont nous venons de parler, a répété la même expérience avec le fer et n'a obtenu qu' « une destruction rapide de l'acétylène avec formation de carbures empyreumatiques, de charbon et d'hydrogène, sans production d'acétylure de fer ».

L'existence du nickel-carbonyle a conduit récemment MM. Moissan et Moureu à étudier l'action de l'acétylène à froid sur certains métaux, préparés de manière à les rendre très poreux.

On a choisi le fer, le nickel et le cobalt, qui ont été préparés au moyen de la réduction par l'hydrogène, à une température aussi basse que possible. L'acétylène est obtenu, dans un appareil de Kipp, à l'aide du carbure de calcium pur, obtenu au four électrique. On a ainsi un dégagement régulier de gaz, qu'on fait passer dans l'eau, puis dans la glycérine anhydre, et qu'on dessèche par le chlorure de calcium et par la potasse récemment fondue au creuset d'argent. Un robinet à trois voies permet de faire arriver brusquement

le gaz sur le métal réduit, qui est placé dans un tube rempli d'hydrogène et dans lequel on peut faire le vide.

« Dans ces conditions, aussitôt que l'acétylène se trouve en grand excès au contact du métal à la température ordinaire du laboratoire, une incandescence très vive se produit ; des fumées abondantes apparaissent dans le tube et viennent se condenser dans les parties froides de l'appareil. Si l'on ralentit la vitesse du courant gazeux, l'incandescence cesse pour se produire à nouveau dès qu'on l'accélère. »

Si l'on n'a pas réduit le métal avec soin et à une température aussi basse que possible, il peut arriver que la réaction ne se produise pas ; il suffit alors de chauffer légèrement un point quelconque du tube avec une lampe à alcool pour la provoquer. L'incandescence se propage ensuite de proche en proche.

L'expérience ne dure que deux ou trois minutes : il se forme bientôt dans le tube un abondant dépôt de charbon, qui l'obstrue complètement et arrête le courant gazeux ; les points lumineux disparaissent aussitôt. Les résultats sont très nets avec le nickel et le cobalt, mais plus brillants avec le fer.

« La poudre noire, que l'on trouve tassée dans le tube, après l'expérience, est formée d'un carbone léger, dans lequel le métal est diffusé. Il rappelle le carbone ferrugineux étudié par Grunner, dans sa réduction des oxydes de fer par l'oxyde de carbone. Ce charbon dégage de l'hydrogène et laisse un résidu noir, ferru-

gineux. Cette substance ferrugineuse est d'autant plus riche en métal qu'elle se trouve plus près du fer réduit employé dans l'expérience.

« Les vapeurs assez denses, qui se produisent au moment de la réaction, peuvent être aisément condensées à l'aide d'un petit serpentin de verre entouré de glace. Le liquide ainsi obtenu est riche en benzine; cette dernière est accompagnée de tous les carbures qui peuvent se produire dans cette réaction et dont la formation a été magistralement étudiée par M. Berthelot. »

Tant que l'incandescence ne se produit pas, l'acétylène n'est pas altéré. Dès qu'elle apparaît, le gaz recueilli se compose au contraire d'hydrogène pur, ainsi que le montrent les analyses suivantes :

	GAZ	APRÈS RÉACTIF CUIVREUX	ACÉTYLÈNE pour 100
Nickel.	6cc 8	6cc 5	4cc 4
»	6 8	6 5	4 4
Cobalt.	10 4	9 5	8 6
Fer.	6 9	6 8	1 4
»	7 0	6 9	1 4

Le gaz qui reste, après l'action du chlorure cuivreux, est de l'hydrogène pur. L'analyse eudiométrique n'a montré que des quantités à peine appréciables de gaz carbonique, provenant d'une petite quantité de vapeur de benzine.

« Il résulte de ces expériences que l'acétylène réagit,

à la température ordinaire, sur le fer, le nickel et le cobalt réduits, en produisant un grand dégagement de chaleur. Une certaine partie de l'acétylène se transforme, conformément aux réactions pyrogénées décrites par M. Berthelot, en benzine et polymères, tandis que la majeure partie du gaz se dédouble en ses éléments : carbone et hydrogène.

« Cette réaction est due à un phénomène physique. Le fer, le nickel et le cobalt réduits sont extrêmement poreux : ils absorbent énergiquement le gaz acétylène. Cette absorption dégage une certaine quantité de chaleur qui amène, la polymérisation et finalement la décomposition de l'acétylène. Dès lors, toute l'énergie qui était en réserve dans l'acétylène, composé endothermique, ainsi que l'a établi M. Berthelot, devient disponible ; l'ensemble de ces réactions produit l'incandescence et le phénomène se continue en s'accentuant de plus en plus, jusqu'au moment où le carbone provenant de la décomposition de l'acétylène s'est accumulé dans le tube en assez grande quantité pour arrêter l'arrivée du gaz. »

Pour vérifier cette explication, MM. Moissan et Moureu ont étudié l'action d'autres corps poreux. Ils ont employé le noir de platine, préparé en réduisant le chlorure platinique par le sucre en présence d'une solution de carbonate de soude, lavé à l'acide chlorhydrique, à l'eau, à l'alcool, à l'éther, puis desséché dans le vide sulfurique, ainsi que la mousse de platine et l'amiante platinée. Ces substances essentielle-

ment poreuses se sont comportées comme les métaux précédemment étudiés.

« Enfin, en diluant l'acétylène dans un gaz inerte, tel que l'azote, on peut empêcher l'incandescence de se produire, mais l'absorption du gaz se fait néanmoins avec lenteur et peu à peu le métal se carbure et retient une petite quantité d'hydrogène.

« Nous n'avons pu isoler, dans ces conditions, aucun composé solide ou liquide renfermant du métal. »

Les autres métaux sont sans action sur l'acétylène ; M. Berthelot a constaté notamment que le cuivre n'est pas attaqué.

Autres dérivés métalliques. — S'il n'existe qu'un petit nombre d'acétylures métalliques, d'un autre côté M. Berthelot a pu obtenir des composés plus complexes, dans lesquels il y a à la fois substitution d'un métal à l'hydrogène et addition d'un oxyde, d'un chlorure, d'un bromure, etc. On admet que ces corps renferment des radicaux organo-métalliques, auxquels on a donné les noms de cuprosacétyle, argentacétyle, etc. Les plus importantes de ces combinaisons sont celles qui renferment du cuivre ou de l'argent, comme :

L'oxyde de cuprosacétyle. . .	$(C^2HCu)^2O$
Le chlorure — . . .	$(C^2HCu)Cl$
Le bromure — . . .	$(C^2HCu)Br$
L'iodure — . . .	$(C^2HCu)I$
L'oxyde d'argentacétyle. . . .	$(C^2HAg^2)^2O$
Le chlorure — . . .	$(C^2HAg^2)Cl$
Le sulfate — . . .	$SO^4(C^2HAg^2)^2$

Le cuprosacétyle aurait pour formule ($C^2H\,Cu$). Son

passer un courant d'acéty-
chlorure cuivreux ammo-
un oxychlorure de cu-
reux, dont nous avons
nuit par éliminer le

$$\ldots + (C^2HCu)OH$$

s'obtient par
d'argent ammonia-
sulfate se préparent
chlorure, le sulfate
dans l'ammoniaque.
sacétyle, un
attaqués

peuvent
l'une à
de l'acide

sensiblement; il est insoluble dans l'eau et très soluble dans l'éther.

Traités par une solution alcoolique de potasse, ces corps se décomposent et régénèrent l'acétylène.

Les chlorhydrates et bromhydrates d'acétylène ont la même composition que les iodhydrates, mais ils sont encore peu connus.

Un mélange d'acide cyanhydrique et d'acétylène, traversant un tube chauffé au rouge, donne de la pyridine C^5H^5Az.

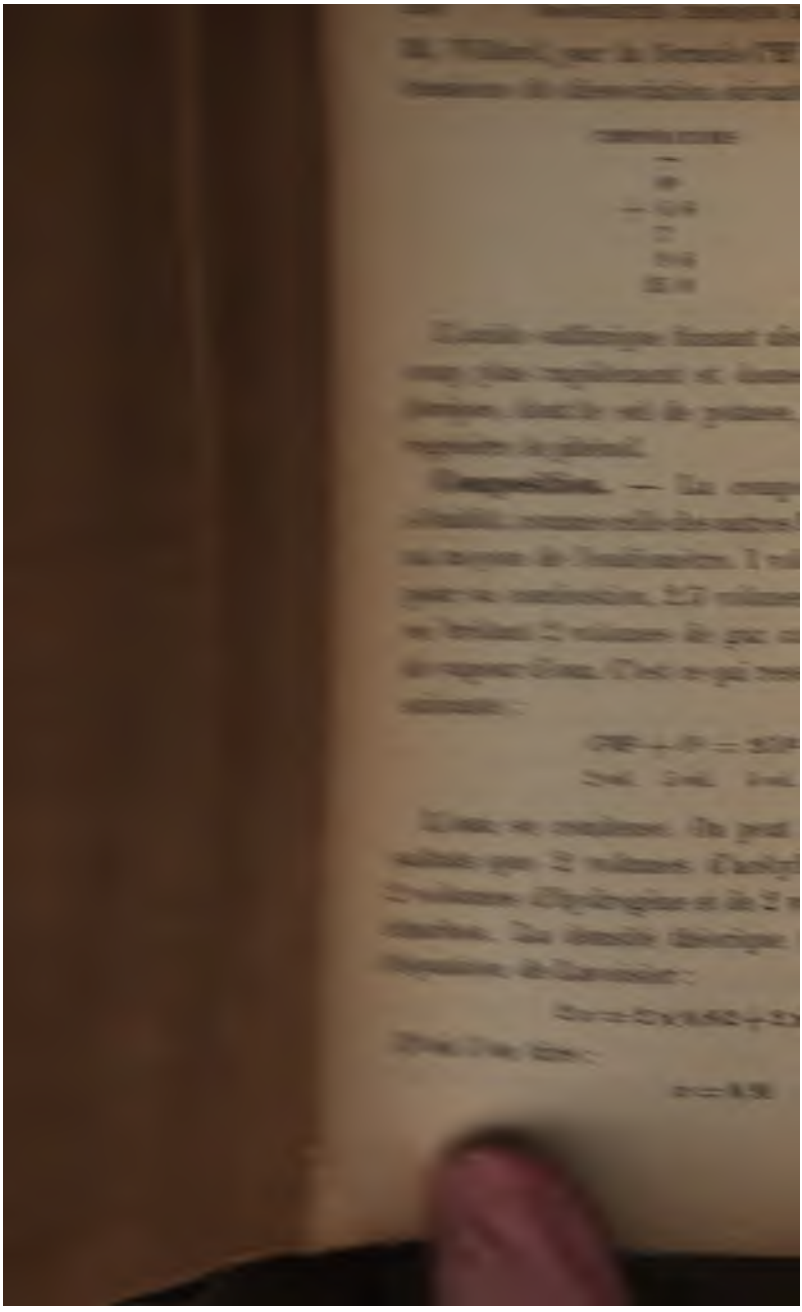
$$2C^2H^2 + HCAz = C^5H^5Az$$

Action de l'ammoniaque. — Dans les conditions que nous venons d'indiquer, l'acétylène et le gaz ammoniac engendrent une petite quantité de pyrrol $C^4H^4.AzH$.

Action de l'acide sulfurique. — L'acide sulfurique absorbe l'acétylène, mais très lentement, et donne, d'après M. Berthelot, l'*acide acétylsulfurique* ou *vinylsulfurique* $SO^2(OH)(O.C^2H^3)$ qui donne un sel de baryum neutre, soluble dans l'eau et susceptible de cristalliser.

Versé dans 10 à 12 fois son poids d'eau froide, l'acide acétylsulfurique se décompose en régénérant l'acide sulfurique et produisant l'*hydrate d'acétylène*. Ce dernier corps est un liquide huileux, incolore, doué d'une odeur forte et irritante; il se résinifie lentement à l'air et plus facilement sous l'influenee de la plupart des réactifs.

L'hydrate d'acétylène peut être représenté, d'après



CHAPITRE XX.

ÉCLAIRAGE A L'ACÉTYLÈNE.

Combustion de l'acétylène. — Produits de la combustion complète.— Expériences de M. Gréhant. — Expériences de M. Le Chatelier. — Température d'inflammation. — Limites d'inflammabilité. — Vitesse de propagation de la flamme. — Température de combustion. — Température de la flamme de l'acétylène. — Pouvoir éclairant. — Explication du pouvoir éclairant. — Altération de l'air.

Combustion de l'acétylène. — Nous avons vu que l'acétylène, lorsqu'on l'allume, brûle au contact de l'air, en produisant du gaz carbonique et de la vapeur d'eau.

$$C^2H^2 + O^5 = 2CO^2 + H^2O$$

Cette combustion est, de toutes les réactions de l'acétylène, la plus intéressante au point de vue industriel, puisqu'elle est la base de son application à l'éclairage. Elle offre quelques particularités intéressantes, que nous allons passer en revue, avant de décrire les brûleurs employés.

Produits de la combustion complète. — Lorsque la combustion de l'acétylène est *complète,* elle engendre seulement, comme nous venons de le voir, de l'anhydride carbonique et de la vapeur d'eau ; mais, à cause des applications industrielles de ce gaz, il importait

[illegible] combustion *incom-*
[illegible] combustion s'ef-
[illegible] pour l'éclairage à
[illegible]

Expériences de M. Gréhant. — Ce dernier point a [illegible] des expériences de M. Gréhant.

[illegible] Manchester donnant une flamme [illegible] métallique vertical, [illegible] réfrigérant à eau froide et un [illegible] aspirateur. On recueil- [illegible] produits de la combustion avec un excès [illegible] à 80 litres en 2 minutes. [illegible] gaz furent agités avec de l'eau de [illegible] il y avait donc dans la [illegible]

[illegible] acide carbonique fut ensuite ana- [illegible] Deux analyses successives don- [illegible] proportion d'oxygène 18,59 et 18,57, ce [illegible] volume d'oxygène consommé par la [illegible] s'est élevé à 1786 cc. Or, [illegible]

$$[illegible] = [illegible] + H^2O.$$

2 vol. [illegible] vol. 4 vol.

[illegible] 2,5 fois son volume d'oxy- [illegible] son volume de gaz carbonique; [illegible] dernier gaz à celui de l'oxygène employé est donc $\frac{2}{2,5}$ ou 0,80. Mais on voit que, dans l'expérience précédente, ce rapport a été

de $\frac{1468}{1786}$ ou 0,82. La combustion de l'acétylène s'est donc bien effectuée suivant la réaction eudiométrique, en donnant seulement de l'eau et de l'acide carbonique.

En outre, comme vérification, on fit aussi l'analyse par le grisoumètre, que nous décrivons plus loin. On fit passer pendant deux heures, dans cet appareil, 1300 cc. du gaz recueilli, préalablement dépouillé d'acide carbonique, et l'on n'obtint, dans un tube de baryte faisant suite à l'ampoule, qu'un anneau à peine visible de carbonate, indiquant une trace d'acide carbonique trop faible pour pouvoir être dosée. Dans une autre expérience, M. Gréhant a fait usage de son procédé physiologique pour la recherche, dans le sang, d'un gaz combustible renfermant du carbone.

Un sac de caoutchouc rempli d'acétylène, sous une pression de 4 centimètres d'eau, alimentait un bec Manchester, que surmontait un cône métallique relié par un réfrigérant à deux soupapes métalliques; on fit ainsi, au moyen d'une muselière, respirer à un chien les produits de la combustion pendant une demi-heure. 42 cc. de sang artériel normal de l'animal, recueillis avant l'expérience, et privés d'acide carbonique, donnaient au grisoumètre une réduction de 3,7 divisions; le même volume de sang, pris à la fin de l'expérience, a fourni une réduction de 3,8 divisions, identique, par conséquent, à la première. Les produits de la combustion n'ont donc pas introduit dans la circulation du sang de gaz carboné.

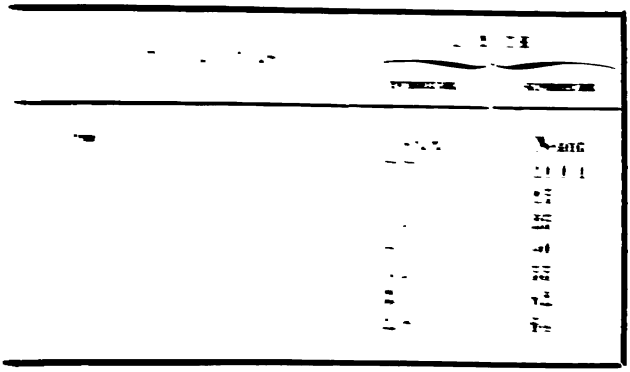
volume d'acétylène. Lorsqu'elle ne l'est pas, les produits renferment de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène. Nous verrons plus loin qu'ils sont alors très toxiques, comme le sont d'ailleurs ceux du gaz d'éclairage, brûlé dans les mêmes conditions.

Température d'inflammation. — La température d'inflammation de l'acétylène est assez basse : elle est voisine de 480°, d'après M. Le Chatelier, tandis que, pour la plupart des gaz combustibles, elle est d'environ 600°. On peut enflammer très facilement les mélanges explosifs d'acétylène, placés dans des tubes de verre, en chauffant quelques instants ces tubes sur une lampe à alcool. L'explosion se produit bien avant que le verre commence à se ramollir.

Limites d'inflammabilité. — En masse indéfinie, les seuls mélanges inflammables, c'est-à-dire dans lesquels l'inflammation mise en un point s'étende à toute la masse, sont, d'après M. Le Chatelier, ceux pour lesquels la proportion d'acétylène est comprise entre les deux limites suivantes :

	AVEC L'AIR	AVEC L'OXYGÈNE
	—	—
Limite inférieure d'inflammabilité.	2,8 0/0	2,8 0/0
— supérieure — .	65	93

Dans des tubes, les limites se resserrent de plus en plus, à mesure que le diamètre diminue, ainsi que le montre le tableau suivant.



— V. Le
ré-
peu
asse

ntimètres
augmente
atteint
mètres
rapide-
puis
elle est

vitesses, à laquelle
différence de celle
aux chutes précé-
par exemple,
leurs les vitesses
au bout de carbone.

« Le maximum de vitesse est obtenu avec un mélange renfermant un excès de gaz combustible par rapport à l'oxygène disponible. Ce résultat est semblable à ceux que donnent les autres gaz combustibles. »

Température de combustion. — Si la température d'inflammation de l'acétylène est peu élevée, sa température de combustion est au contraire supérieure à celle des autres gaz combustibles, qui est voisine de 2000°. C'est ce qui ressort des calculs effectués par M. Le Chatelier, à l'aide des chaleurs spécifiques des corps gazeux qu'il avait mesurées antérieurement, de concert avec M. Mallard. Il a trouvé ainsi, en négligeant la dissociation :

Mélange d'acétylène et d'air à 7,4 0/0 du premier gaz.

Réaction :

$$C^2H^2 + 2{,}5\,O^2 + 9{,}4\,Az^2 = 2CO^2 + H^2O + 9{,}4\,Az^2$$

Température : 2420°.

Mélange à 12,2 0/0 d'acétylène.

Réaction :

$$C^2H^2 + 1{,}5\,O^2 + 5{,}65\,Az^2 = \frac{4}{6}(2CO + H^2O) + \frac{2}{6}(CO^2 + H^2) + 5{,}65\,Az^2$$

Température : 2260°.

Mélange à 17,37 0/0 d'acétylène.

Réaction :

$$C^2H^2 + O^2 + 3{,}75\,Az^2 = 2CO + H^2 + 3{,}75\,Az^2$$

Température : 2100°.

L'acétylène donne donc, en brûlant, une température

supérieure à celle que fournissent les autres gaz combustibles. Ce résultat est dû à ses propriétés endothermiques ; outre la chaleur dégagée par la combustion du carbone et de l'hydrogène, il restitue celle qu'il avait absorbée pour sa formation.

M. Le Chatelier a calculé en outre que, si l'on brûlait l'acétylène avec son volume d'oxygène, on obtiendrait une température de 4000°, c'est-à-dire une température supérieure de 1000° à celle de la flamme du chalumeau oxhydrique. Les produits de la combustion seraient uniquement formés, comme l'indique la dernière réaction citée, d'oxyde de carbone et d'hydrogène, c'est-à-dire de gaz réducteurs, ce qui rendrait l'emploi de l'acétylène très avantageux pour les laboratoires, soit pour la production des températures élevées, soit pour l'analyse spectrale.

Température de la flamme de l'acétylène. — La flamme de l'acétylène est moins chaude que celle des autres gaz combustibles. M. Lewes l'a constaté en étudiant, avec le couple thermo-électrique de M. Le Chatelier, les flammes de l'acétylène, du gaz d'éclairage et de l'éthylène. Il a trouvé :

	ACÉTYLÈNE	GAZ D'ÉCLAIRAGE	ÉTHYLÈNE
Fin de la zone éclairante.	1517°	2116°	1865°
Commencement. — .	1411	1658	1320
Zone non éclairante. . .	459	1023	952

La température moyenne de la zone éclairante est donc 1464° pour le premier gaz, 1887 pour le second et 1592 pour le troisième.

Quant à la température de la partie extérieure de la flamme, où la combustion est complète, il a été impossible de la déterminer, car le couple thermo-électrique fondait dans cette zone, avec l'acétylène comme avec le gaz d'éclairage.

M. Le Chatelier a fait remarquer que les mesures précédentes ne sont pas absolument exactes, car la soudure thermo-électrique, rayonnant de la chaleur vers le milieu ambiant, est à une température inférieure à celle de la flamme dans laquelle on l'introduit; en outre, il faudrait chauffer les fils sur une certaine longueur, pour éviter qu'ils ne refroidissent la soudure par conductibilité.

La température relativement basse de la flamme d'acétylène nous paraît s'expliquer facilement par la grande proportion de carbone contenu dans ce gaz. Lorsque la flamme est éclairante, une grande partie de ce carbone n'est pas brûlée, mais seulement portée à l'incandescence par la chaleur que dégage la combustion de l'hydrogène et du reste du carbone, ce qui a pour effet de refroidir la flamme. Nous reviendrons sur ce sujet à propos du pouvoir éclairant.

Grâce à la température peu élevée, on peut approcher la main, sans se brûler, jusqu'à une petite distance de la flamme, ce qui est impossible avec le gaz d'éclairage.

Pouvoir éclairant. — L'acétylène possède un pou-

[illegible] c'est la région [illegible] brûlée, s'y [illegible] de la lumière. [illegible] en contact [illegible] l'atmosphère, la [illegible]n s'y achève; [illegible] bleue à la [illegible]rieure D et jau-[illegible] le haut, est donc [illegible] mais très peu [illegible]e. Si l'on coupe la [illegible]e par un corps [illegible] tel qu'une feuille de [illegible] on obtient en C un dépôt de charbon [illegible] et en A une [illegible] pleine; au sommet de la flamme, au contraire, il ne se forme plus de [illegible]e, mais le papier r[illegible] rapidement.

[illegible]
[illegible]

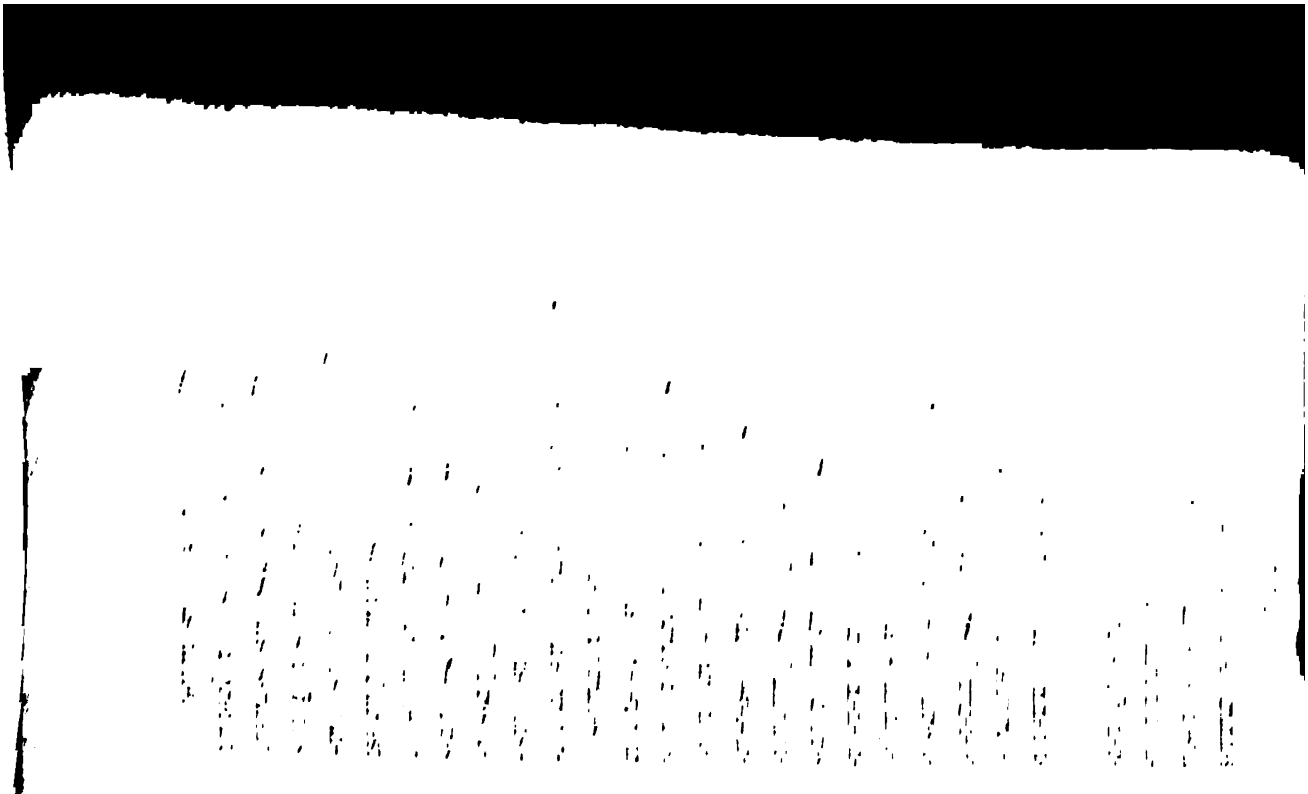
La même disposition s'observe dans la flamme [illegible]. Les corps gazeux, en [illegible] température, sont peu lumi-[illegible] pour qu'une flamme soit [illegible] très chaude; ainsi, la flamme [illegible]e cette qualité, est en même [illegible] Les s[illegible]des et les liquides seuls sont

vraiment lumineux ; il faut donc que la flamme renferme un corps solide, dont les particules, portées à l'incandescence par la chaleur que dégage la combustion du gaz, répandent une vive lumière.

Dans l'acétylène, comme dans toutes les substances combustibles employées pour l'éclairage, ce corps éclairant, c'est le charbon. Or l'acétylène est, de tous les hydrocarbures, le plus riche en carbone ; il en contient 92,3 0/0 ; mais il est nécessaire que la combustion produise assez de chaleur pour porter tout ce charbon à l'incandescence ; sinon, la richesse exceptionnelle du gaz en carbone ne servirait qu'à rendre la flamme rougeâtre et fumeuse. La grande quantité de chaleur nécessaire pour donner à la flamme tout son éclat est due à deux causes, qui réagissent l'une sur l'autre, la valeur de la température de combustion, qui est très élevée, et l'état endothermique, qui a pour effet d'ajouter la chaleur résultant de la décomposition du gaz à celle que produit la combustion de ses éléments.

Altération de l'air. — L'acétylène l'emporte encore sur les autres illuminants à un autre point de vue. Il donne bien en brûlant, comme tous les hydrocarbures, de la vapeur d'eau et du gaz carbonique ; mais, à puissance lumineuse égale, il consomme moins d'oxygène et vicie moins l'atmosphère que les autres agents d'éclairage et en particulier que le gaz de houille, puisque, son pouvoir éclairant étant plus considérable, on n'en brûle qu'un poids plus faible.

Pour comparer les deux gaz, nous admettrons que



CHAPITRE XXI.

BRULEURS A ACÉTYLÈNE.

ınvénients des becs ordinaires. — Mélange de l'acétylène avec un gaz erte. — Mélange de l'acétylène avec l'air : becs Bullier ; bec Prevost ; ec de la Société internationale d'éclairage par le gaz d'huile ; bec Lebeau. — Brûleurs à incandescence. — Brûleurs à acétylène seul ; bec de Perro- il ; bec de Resener et Luchaire. — Brûleurs spéciaux. — Becs étalons. — Becs pour projections, photographies, etc.

Inconvénients des becs ordinaires. — Si l'on ıflamme un jet d'acétylène à la sortie d'un brûleur à ir libre, Manchester ou papillon, tel que ceux dont n se sert pour le gaz de houille, on n'obtient qu'une lamme rougeâtre, peu éclairante et fumeuse. C'est ue la combustion n'est pas assez complète pour porter à une température élevée le carbone contenu, comme nous le savons, en proportion considérable dans l'hydrocarbure, condition nécessaire pour rendre la flamme éclairante. Il faut aussi éviter l'échauffement du bec, qui favorise la polymérisation de l'acétylène : les hydrocarbures liquides et solides ainsi produits se décomposent dans la flamme et donnent un dépôt de charbon, qui encrasse et obstrue l'orifice du bec. Plusieurs systèmes de brûleurs et plusieurs modes de combustion ont été déjà essayés pour remédier à cet inconvénient.

Mélange de l'acétylène avec un gaz inerte. — Dès ses premières expériences, M. Bullier a songé à mélanger l'acétylène avec l'azote. Un générateur d'azote a même été installé dans le laboratoire de la rue de Buffon. Il faut observer que ce gaz peut facilement s'obtenir avec économie, en faisant passer un courant d'air sur du cuivre chauffé au rouge ; c'est la méthode qu'employait M. Bullier. Les deux gaz se mélangent bien, car ils ont à peu près même densité. On a pu ainsi se servir de becs ordinaires et obtenir un bon rendement lumineux, en prenant un mélange à 15 0 0 d'azote pour les becs débitant 90 litres à l'heure et donnant 16 carcels, à 30 0/0 pour les brûleurs de 50 litres, fournissant une intensité lumineuse de 7 carcels.

On a encore proposé de mélanger l'acétylène avec l'acide carbonique, avec l'oxyde de carbone ou avec les gaz qui s'échappent des cheminées d'usines. L'azote est évidemment le gaz qui convient le mieux, à cause de son égale densité et de la simplicité de sa préparation ; mais ces différents systèmes sont toujours compliqués et ont l'inconvénient de répandre dans l'atmosphère des locaux éclairés une certaine quantité de gaz irrespirables ou même délétères.

Mélange de l'acétylène avec l'air. — Une solution plus rationnelle consiste à mélanger d'avance l'acétylène avec la proportion d'air convenable pour assurer une combustion suffisamment complète et produire une flamme blanche et bien éclairante. M. Hem-

pel a obtenu ainsi de bons résultats avec une proportion de 40 0/0 d'air. M. Dickerson et M. Thivert ont combiné des gazomètres effectuant automatiquement le mélange. Malheureusement, un tel mélange a le défaut d'être explosif et, outre l'ennui de le préparer, on ne saurait, sans imprudence, songer à le conserver dans un gazomètre.

Becs Bullier. — Bien que ce système soit satisfaisant, il est beaucoup plus simple et plus pratique de produire le mélange au moment même de le brûler, ainsi que cela se fait dans un certain nombre de brûleurs à gaz.

M. Bullier a construit des becs fondés sur ce principe. Il s'est servi d'abord de brûleurs genre Manchester, percés de deux conduits verticaux *a* pour l'arrivée du gaz (fig. 72). Dans ces tubes débouchent deux ou plusieurs conduits de prise d'air *b*, percés obliquement par rapport à l'axe du bec, de façon que le courant de gaz entraîne une certaine quantité d'air et se mélange avec lui. On obtient ainsi une combustion assez complète pour rendre la flamme parfaitement éclairante.

Ce système peut s'appliquer également aux becs à fente circulaire donnant une flamme cylindrique (fig. 73). On dispose alors autour du bec une couronne circulaire *c*, laissant entre elle et le bec, pour le passage de l'air, deux vides *b* concentriques à la fente *a* d'échappement du gaz. Les deux fentes *b* pourraient aussi être remplacées par deux rangées de trous.

l'appel d'air ; cette ouverture est placée à peu près au même niveau que l'orifice d'entrée du gaz et sa section est calculée de manière que le mélange gazeux renferme environ 40 0/0 d'air et 60 0/0 d'acétylène. Une virole, placée autour du tube, permet de faire varier l'introduction de l'air suivant la pression du gaz. Sous une pression de 30 millimètres d'eau, on obtient la carcel avec une consommation de 6 à 7 litres par heure. Le premier dessin représente un bec à flamme cylindrique, le second un bec à flamme plate, genre papillon.

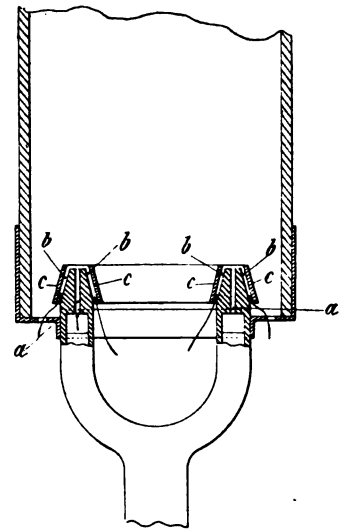


Fig. 73. — Bec auto-mélangeur Bullier, à flamme cylindrique

Enfin, tout récemment, M. Bullier a fait breveter la disposition suivante (fig. 75), destinée à éviter l'encrassage ou le graphitage, c'est-à-dire la formation, à l'orifice du brûleur, d'un dépôt de charbon qui l'obstrue peu à peu. Pour obtenir ce résultat, le bec est constitué par deux branches convergentes *a a*, de sorte que la rencontre des deux jets détermine leur redressement et leur écrasement et produit une flamme verticale, perpendiculaire au plan de la figure, et ana-

le la flamme se trouve ainsi relativement loin des orifices, en raison de l'excès d'air introduit par les ouvertures latérales ; grâce à cet excès d'air, la combustion est complète entre les orifices et le point d'écrasement, et la flamme est bleue et non éclairante dans toute cette partie, de sorte qu'on évite le dépôt de charbon.

Les petites prises d'air *b* peuvent être en nombre quelconque, par rangées de trois ou quatre, par

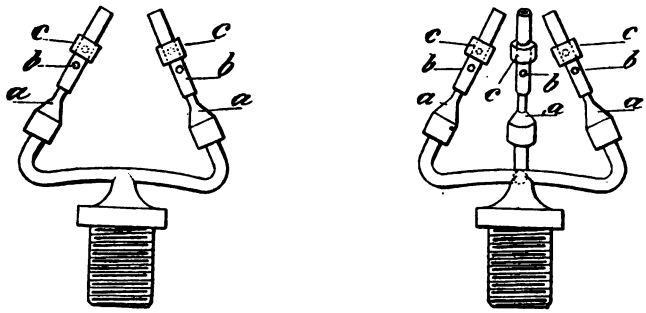


Fig. 75. — Bec Bullier, à branches inclinées.

exemple ; une bague *c* coulisse à frottement dur sur chaque branche du bec, de manière à boucher une ou plusieurs rangées des ouvertures *b ;* elle sert aussi à empêcher le brûleur de s'allumer par le bas. Ce brûleur peut se construire aussi à trois ou plusieurs branches, comme le montre le second dessin.

Bec Prevost. — On construit un certain nombre de becs à aspiration d'air, plus ou moins analogues à ceux que nous venons de décrire. Tel est le brûleur de

très chaude en brûlant le gaz complètement par un courant d'air et à utiliser cette flamme pour porter à une température très élevée un corps solide qui est, dans le bec Auer, un manchon constitué par des terres rares (oxydes de thorium, d'yttrium, de zircone, de didyme, de lanthane, etc.).

M. Türr a essayé d'appliquer cette méthode à l'acétylène. Le brûleur est analogue à un bec de Bunsen, mais il porte deux modifications qui permettent de brûler complètement l'acétylène et d'obtenir une flamme bleue entourée d'une aigrette rouge, dont la puissance calorifique est très grande ; au-dessus de cette flamme est disposé un manchon de 6 centimètres de hauteur, qui se trouve porté à l'incandescence. Afin de faciliter la manœuvre du manchon, sa tige pénètre dans un tube qui peut pivoter, ce qui permet d'allumer et de régler d'abord le brûleur et ensuite, en faisant tourner la tige, d'amener le manchon au-dessus de la flamme, de façon qu'elle soit entourée par les parois du manchon.

D'après l'auteur, ce bec donne 12 carcels ou 120 bougies avec une consommation de 30 litres, soit 2.5 litres par carcel.

Brûleurs à acétylène seul. — Le plus simple de tous les systèmes, ce serait encore de brûler l'acétylène seul, comme on le fait pour le gaz de houille. On y est arrivé en se servant de becs plus fins, qui laissent échapper le gaz en une lame extrêmement mince ; la surface de contact avec l'air extérieur, pour un volume

de gaz déterminé, est alors assez grande pour assurer une combustion suffisamment complète. On emploie surtout des becs papillon et des becs Manchester ou becs Bray en stéatite, et quelquefois des becs à un ou plusieurs trous parallèles.

Les becs papillon sont percés d'une fente très étroite, les becs Manchester de deux trous inclinés, fournissant deux jets de gaz qui, en se rencontrant, s'aplatissent et donnent une flamme perpendiculaire au plan des deux conduits. La flamme est plus régulière que

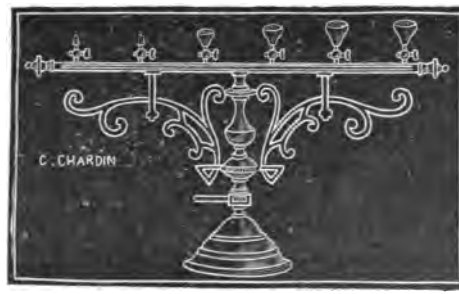
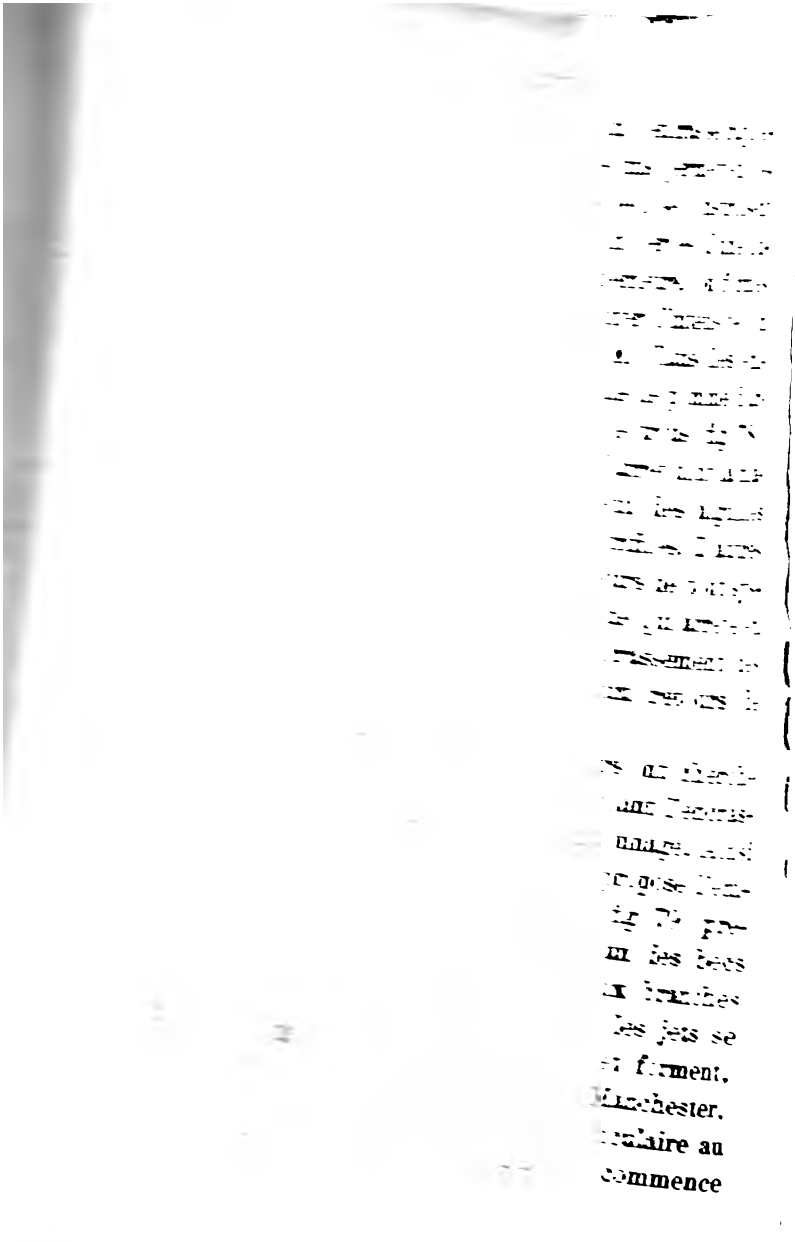


Fig. 78. — Becs Clausolles.

celle des becs papillon. Avec une fente assez étroite ou des trous assez fins, on obtient une flamme fixe, très blanche et très éclairante.

Généralement, il est impossible de faire varier la pression comme on le fait avec le gaz d'éclairage : si on l'augmente outre mesure, le rendement lumineux ne s'accroît pas sensiblement ; si on la diminue, la flamme devient jaunâtre et peu éclairante et le bec se



ɔ ici qu'au point C, c'est-à-dire à une certaine nce des orifices de sortie ; les particules de car- : qui tendent à se déposer tombent verticalement ant *f* et ne viennent pas obstruer les ouvertures.

.. Ragot fait aussi arriver l'acétylène par deux ages inclinés.

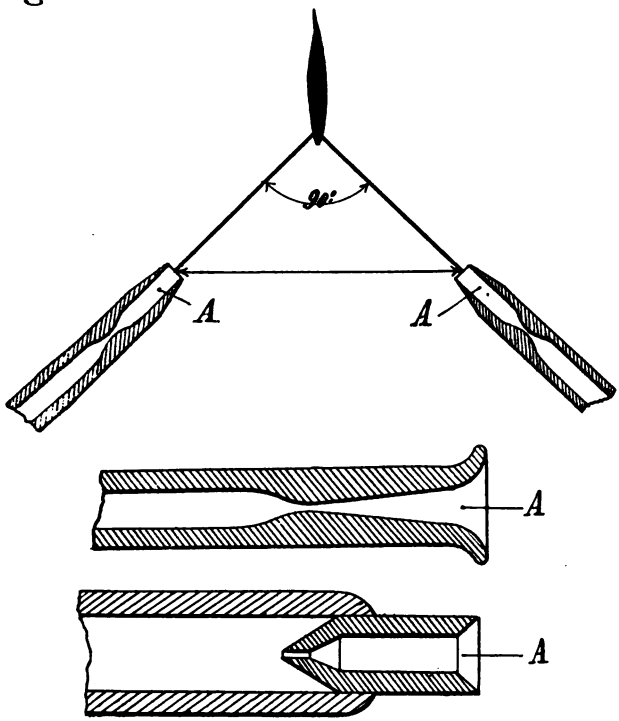


Fig. 80. — Bec de Resener et Luchaire.

Bec de Resener et Luchaire. — MM. de Resener et Luchaire ont imaginé un bec caractérisé par une

[illegible] ique, placée en [illegible] jet gazeux (fig. 80). [illegible] qui forme l'extré- [illegible] peut être amincie, évasée ou [illegible] montrent les trois des- [illegible]

[illegible] peut être [illegible] par un étranglement [illegible] présenter une disposition [illegible] bec ordinaire retourné [illegible] d'amenée du gaz.

[illegible] millimètres d'eau, le [illegible] qu'à 1/2 millimètre [illegible] et cette distance aug- [illegible] Les deux jets se rencontrent [illegible]

[illegible] l'extrémité du bec facilite le [illegible] de la chambre A guident l'épin- [illegible] passer dans le petit trou.

Brûleurs spéciaux. — Nous indiquerons, pour ter- [illegible] quelques brûleurs construits spécia- [illegible] pour les applications particulières, étalons, [illegible] etc.

Becs étalons. — M. Violle a fait remarquer que la flamme de l'acétylène convient très bien à l'établisse- ment d'un étalon pratique, puisque, si l'on brûle ce gaz sous une pression un peu forte et dans un bec qui l'étale en une large lame mince, on obtient une flamme parfaitement fixe, très éclairante, d'une blancheur remarquable et d'un éclat sensiblement uniforme sur

une assez grande surface. D'après ces principes, M. Violle a fait construire, par M. Carpentier, une lampe étalon d'un emploi commode.

Le gaz arrive par un petit orifice conique ; il entraîne avec lui la quantité d'air nécessaire, puis il pénètre par un trou étroit dans un tube où se fait le mélange, et qui se termine par un bec en stéatite semblable à ceux dont on se sert pour le gaz d'éclairage. On peut utiliser toute la surface de la flamme ou seulement une partie. Pour cela, la flamme est placée dans une boîte, dont l'une des faces porte un diaphragme à iris permettant de prendre immédiatement sur la lampe en régime normal le nombre de bougies dont on a besoin, tandis que l'autre face peut recevoir des ouvertures calibrées d'avance et permettant d'utiliser différents régimes. Toutes les pièces ont été réglées pour assurer la constance de composition du mélange d'acétylène et d'air, car un léger changement dans les proportions de ce mélange peut modifier considérablement la nuance de la flamme, sinon son éclat moyen.

La flamme entière de cette lampe donne une intensité supérieure à 100 bougies ou à 10 carcels, sous la pression de 0,30 mètre d'eau ; la consommation est de 58 litres par heure, ce qui correspond bien aux chiffres que nous avons donnés plus haut (page 240).

M. Vautier a présenté au Congrès de la Société technique de l'Industrie du Gaz, à Clermont-Ferrand, un bec destiné au même usage. L'acétylène arrive

[illegible] un orifice conique étroit, coiffé par un tube également conique dans sa partie inférieure. L'air est aspiré entre les deux cônes et se mélange avec le gaz ; la flamme est parfaitement fixe et possède un bel éclat.

Les essais ont été effectués avec un bec papillon à tête ronde et fente de $\frac{3}{10}$ de millimètre, placé sur un tube de 2 millimètres de diamètre intérieur et de 65 millimètres de longueur. L'intensité varie, suivant la pression, de 5 à 10 carcels, avec une consommation de 7 à 8 litres par carcel-heure. Avec une pression fixe, l'intensité reste parfaitement constante.

M. Vautier a comparé cette flamme avec celle de la lampe carcel, au moyen du spectrophotomètre de M. Crova ; il l'a trouvée beaucoup plus riche que cette dernière en radiations comprises entre le jaune et le violet ; inversement, elle contient beaucoup moins de rayons rouges et jaunes ; elle a donc un pouvoir photogénique beaucoup plus grand.

Becs pour projections, photographies, etc. — L'acétylène peut être employé commodément pour l'art, si répandu aujourd'hui, des projections. M. Trouvé a construit, pour cette application, des becs de 35 carcels ou 300 bougies ; ce brûleur (fig. 81) est percé de trous parallèles donnant des flammes semblables à celles des becs bougie ; il peut être alimenté par un générateur, fondé, comme l'appareil (fig. 23, page 117), sur le principe du briquet, et qu'on peut transporter à la main au moyen d'une poignée.

L'appareil portatif Fuller est également destiné aux projections ou à l'éclairage du microscope: il alimente un brûleur à quatre becs. Le générateur se compose d'un vase cylindrique plein d'eau, contenant une cloche de gazomètre que surmonte une autre petite cloche renfermant le panier de carbure. Le gaz se produit d'après le principe du briquet.

Fig. 81. — Brûleur pour projections.

M. Türr a aussi appliqué le brûleur à incandescence décrit plus haut à la photographie de nuit et à l'intérieur des appartements, ainsi qu'aux projections lumineuses et au cinématographe.

D'après M. Molteni, les différentes sources employées

pour les projections donnent, en bougies, les intensités suivantes :

Arc électrique.	1 200
Lumière oxhydrique (gaz comprimé), au plus.	400
Lumière oxyétherique, au moins.	300
Lumière oxhydrique ordinaire.	150 à 250
Lumière oxycalcique.	100
Acétylène.	80
Bec Auer ou lampe à pétrole à 4 mèches. .	20

Pour la photographie, l'acétylène équivaut à 150 bougies, le bec Auer à 44 et le bec Bengel à 12. Avec l'acétylène, le temps de pose serait seulement double de celui exigé par la lumière oxhydrique.

CHAPITRE XXII.

LAMPES PORTATIVES.

Principe des lampes portatives. — Lampe Trouvé. — Lampe Bazin et Leroy. — Lampe Türr. — Lampe Richard-Choubersky. — Lampe Deprez et Duthuit. — Lampe Prevost. — Lampe Gossart et Chevallier. — Lampe Claude et Hess. — Lampe Cerckel. — Lampe Ducretet et Lejeune. — Lampe Gearing. — Lampes à acétylène liquide.

Principe des lampes portatives. — On a essayé pour l'acétylène, comme on l'avait fait autrefois pour l'électricité, de construire des appareils portatifs, ayant à peu près l'aspect et les dimensions des lampes ordinaires, et servant à la fois à produire le gaz et à le brûler: on leur donne le nom de lampes portatives. La plupart de ces appareils sont fondés sur le principe du briquet à hydrogène; ils reproduisent généralement les dispositifs déjà appliqués par leurs inventeurs à la construction d'appareils générateurs d'acétylène.

Dans d'autres modèles, l'alimentation d'eau ou de carbure est proportionnelle au débit du brûleur. Quelquefois, au contraire, l'acétylène, produit en excès, s'accumule sous pression, et s'échappe à travers un régulateur. Enfin certaines lampes utilisent l'acétylène liquide, au moyen d'un détendeur. Ce dernier système serait préférable, s'il offrait une sécurité parfaite; les

[illegible] d'avoir nécessairement qu'une faible [illegible] exigent des manipulations fréquentes, qui augmentent aussi les chances d'accidents. Certains [illegible] exposent à une surproduction gênante ou [illegible]. Le résidu de chaux est embarrassant. Enfin, comme on n'est pas averti de l'épuisement de la provision de carbure, on est exposé, soit à recharger la lampe trop souvent, ce qui produit une dépense inutile, soit à la voir s'éteindre au milieu de la soirée. Aussi les lampes portatives sont-elles, jusqu'ici, peu employées.

[illegible] Lampe Trouvé.

Lampe Trouvé. — La lampe portative de M. Trouvé repose, comme son appareil déjà décrit, sur le principe du briquet. Deux vases concentriques, fig. 82 contenant de l'eau, communiquent par un ou plusieurs orifices pratiqués dans le fond du vase central. Celui-ci renferme le [illegible] de carbure de calcium, supporté par un croi[illegible] s'appuie sur le fond ; on est ainsi préservé

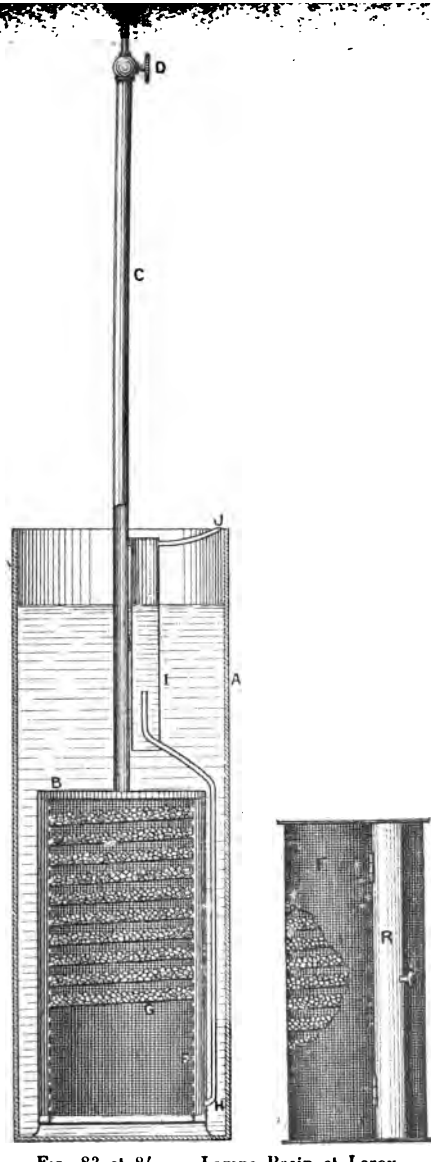


Fig. 83 et 84. — Lampe Bazin et Leroy.

contre la chute du panier, qui entraînerait une production exagérée de gaz. L'acétylène se rassemble à la partie supérieure du vase central et refoule l'eau, qui cesse d'être en contact avec le carbure. Dès qu'on ouvre le robinet supérieur, le gaz se dégage et se rend au brûleur, après s'être desséché dans le col de la lampe, qui contient un condensateur approprié. Un siphon amène au brûleur l'excès de gaz qui pourrait se produire accidentellement.

Lampe Bazin et Leroy. — Pour régulariser l'attaque du carbure, on dispose ce produit sur une série de plans inclinés, fixés à l'intérieur d'un cylindre en toile métallique F (fig. 84), mais sans le tasser. Le chargement se fait par la porte R. On introduit ensuite le cylindre dans une cloche B, où il est maintenu par un ressort, et l'on dispose la cloche dans un vase en porcelaine A (fig. 83), que l'on remplit d'eau. En ouvrant le robinet D, le liquide monte dans la cloche et attaque le carbure. Quand on ferme le robinet D, le gaz s'accumule dans la cloche et refoule l'eau. En cas de surproduction, le gaz se rend par un tuyau H dans une éprouvette I et s'échappe par J ; en adaptant à la tubulure J un tube de caoutchouc, on peut diriger ce gaz au dehors.

Lampe Türr. — Dans cette lampe, qui repose sur le même principe, on a cherché à éviter la surproduction par l'emploi d'une couche de pétrole d'un centimètre d'épaisseur, placée à la surface de l'eau dans le vase intérieur E.

Le panier de carbure (fig. 85) est suspendu à une cordelette, qui s'enroule sur un petit treuil B, mû par le bouton moleté C; le carbure a été préalablement imprégné de pétrole. Quand le panier est remonté, la couche de pétrole placée sur l'eau empêche le dégagement de la vapeur et le carbure n'est pas attaqué; il est en outre, au moins en partie, protégé par une couche de pétrole, qui s'est déposée à sa surface lorsqu'on a remonté le panier. Pour faire dégager le gaz, on descend le panier. Le liquide attaque bientôt le carbure en diluant le pétrole qui l'imbibe ou en pénétrant dans des cavités que ce liquide n'avait pas atteintes. Une tige, qui traverse le cylindre intérieur, sert à le guider et empêche le panier de tomber jusqu'au fond, dans le cas où la cordelette viendrait à se rompre. Avant d'éteindre la lampe, on remonte le panier et on laisse brûler le gaz presque complètement, ce qui n'exige guère qu'une minute.

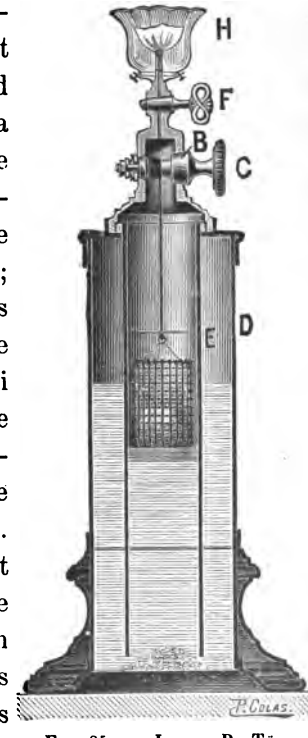


Fig. 85. — Lampe R. Türr.

Lampe Richard-Chaubersky. — Cette lampe, qui [illegible] est encore fondée sur

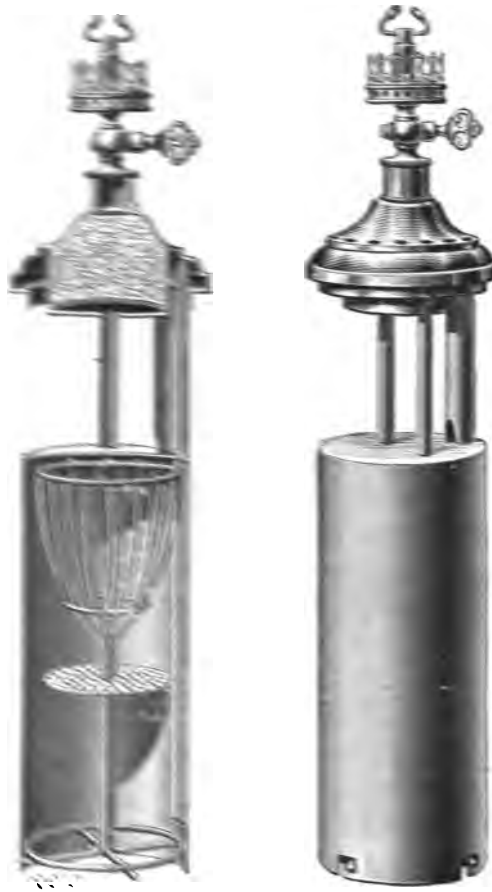


Fig. 96. — Lampe Richard-Chaubersky.

le principe de la lampe à hydrogène. Le carbure est placé

dans un panier ajouré, qui se fixe, par un mouvement de baïonnette, au rebord inférieur d'une cloche cylindrique (fig. 86), communiquant par deux tubes avec le brûleur. Ce système est indroduit dans un corps cylindrique, non figuré, terminé à la partie supérieure par un renflement, et qu'on a préalablement rempli d'eau jusqu'à la naissance de ce renflement. Avant d'arriver au bec, le gaz traverse un filtre composé d'une boîte remplie d'une couche de grains de plomb, surmontée d'une autre couche de coton comprimé. Les impuretés que le gaz entraîne se trouvent ainsi mécaniquement arrêtées et ne peuvent venir encrasser les orifices du bec. Le modèle représenté peut donner 200 litres de gaz.

Pour éviter la surproduction, on emploie des morceaux de carbure enrobés dans de la glucose, et décorés du nom d'*Acétylithe*. Cette couche protectrice empêche l'action de la vapeur d'eau. Une lampe chargée de 600 grammes de carbure ainsi préparé donne, dit-on, une intensité lumineuse d'au moins 2,5 carcels pendant 8 heures.

Lampe Deprez et Duthuit. — C'est encore une application du briquet. Le panier rempli de carbure est recouvert d'une cloche guidée par une tige centrale, et fixé sur un support, qu'on adapte par des encoches, au moyen d'une sorte de monture à baïonnette, à un réservoir cylindrique, qui entoure le tout. Ce réservoir est ouvert à la partie inférieure et muni de deux orifices de dégagement, dont le premier aboutit seul au robinet du

brûleur. Quand on monte l'appareil, l'air resté dans la cloche empêche l'attaque du carbure. Lorsqu'on ouvre le robinet, l'air est chassé par le liquide et l'acétylène commence à se produire. La cloche est mobile et monte ou descend suivant la pression.

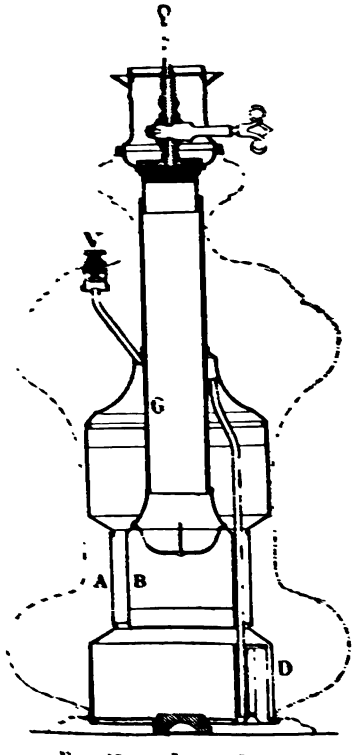


FIG. 87. — Lampe Prevost.

Le carbure employé est revêtu d'un enrobage spécial, pour empêcher la surproduction ; si elle se produit cependant, le gaz se dégage hors de la lampe par une rainure verticale et un orifice correspondant. Il est donc utile de placer la lampe dans un lieu bien aéré lorsqu'on ne s'en sert pas. Des toiles métalliques très fines sont disposées à tous les passages de gaz pour empêcher les retours de flamme.

Lampe Prevost. — Cette lampe (fig. 87) repose encore sur le même principe et présente les mêmes dispositions que l'appareil générateur décrit plus haut (page 130).

Une bougie de carbure de calcium, recouverte d'un enrobage isolant, repose sur un croisillon entre les cylindres d'inégal diamètre G et B. La vis V, ouverte seulement pendant la marche, sert à la sortie et à la rentrée de l'air. L'obturateur D, formant joint hydraulique, laisse échapper l'air pendant l'arrêt, s'il y a excès de pression, mais ne le laisse pas rentrer. L'emploi de la bougie isolée évite à peu près la surproduction.

Lampe Gossart et Chevallier. — Dans cette lampe, l'arrivée de l'eau est réglée automatiquement sans aucun mécanisme. Le réservoir d'eau est placé au-dessus du récipient de carbure et communique avec lui par des tubes capillaires recourbés en S. L'eau tombe goutte à goutte par ces tubes. Quand le robinet de sortie est fermé, le gaz s'accumulant dans le récipient inférieur, l'équilibre s'établit dans les tubes entre sa pression, celle du liquide et l'action capillaire, et l'eau cesse de couler. En cas de surproduction, le gaz s'échappe par les tubes capillaires. Comme le carbure ne reçoit qn'une très petite quantité d'eau, la chaux formée est en poudre sèche et tombe facilement au fond. D'un autre côté, cette disposition favorise l'échauffement : on dit cependant que la température intérieure n'atteint jamais 50°.

Lampe Claude et Hess. — L'eau est placée dans la lampe. Le carbure, réduit en poudre, est dans un cône renversé, placé à la partie supérieure et muni d'un orifice à son sommet. Cet orifice est fermé par un bouchon conique solidaire d'une membrane de caout-

chouc. Un ressort, appuyant sur cette membrane, fait ouvrir l'orifice ; quand la pression du gaz devient suffisante, elle équilibre l'action du ressort et le bouchon conique ferme l'orifice.

Lampe Cerckel. — Cette lampe est fondée sur le même principe que le générateur décrit plus haut (page 147). Elle se compose de deux réservoirs superposés A et B (fig. 88), communiquant par un tube latéral, qui s'ouvre à la partie inférieure de chacun d'eux, et qui est muni d'un robinet. Le réservoir A contient l'eau ; B renferme un étui où l'on place les paniers de carbure de calcium. La balle F ferme le tube de communication lorsque le réservoir B est plein de gaz. L'acétylène se rend aux becs par le tube central. Le chargement se fait par la partie inférieure, en dévissant une bague qui fait joint hermétique entre le corps de la lampe et le pied.

Fig 88. — Lampe Cerckel.

Lampe Ducretet et Lejeune. — Le carbure de

calcium est placé dans le panier perforé S (fig. 89), qu'on introduit dans l'enveloppe B. L'eau se trouve dans l'enveloppe extérieure H*o*, qui sert en même temps de réfrigérant: elle pénètre en B par un tube vertical et un régulateur de débit à soupape R*e* et attaque le carbure de bas en haut. Des cloisons en chicanes sont disposées en G, à l'intérieur du récipient B, ainsi que dans le tube T, qui se rend au brûleur. En R*e''* se trouve un réducteur de pression. Cet appareil peut servir pour les projections, la télégraphie optique, la photographie.

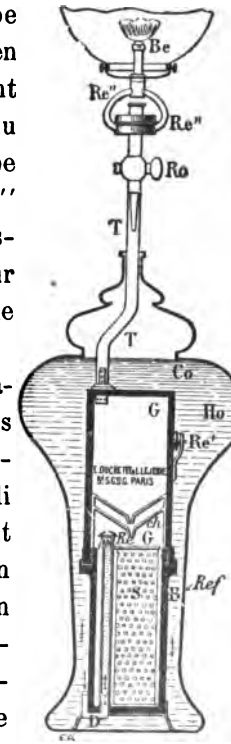


Fig. 89. — Lampe Ducretet et Lejeune.

Lampe Gearing. — Cet appareil produit aussi l'acétylène sous pression. Il se compose d'un récipient vertical, en partie rempli d'eau, dans lequel on introduit rapidement, lors du montage, un bâton de carbure, recouvert d'un vernis, qui le protège suffisamment contre l'action de l'eau pendant qu'on ferme le récipient. Le gaz se dégage ensuite et se comprime dans l'appareil, d'où on le fait sortir à travers un régulateur, qui le ramène à la pression voulue.

Lampes à acétylène liquide. — Si l'on arrivait à

employer sans danger l'acétylène liquide, on aurait une solution très avantageuse pour les lampes portatives. La figure 90 montre deux lampes de ce genre. Il est indispensable d'intercaler, entre le brûleur et le réser-

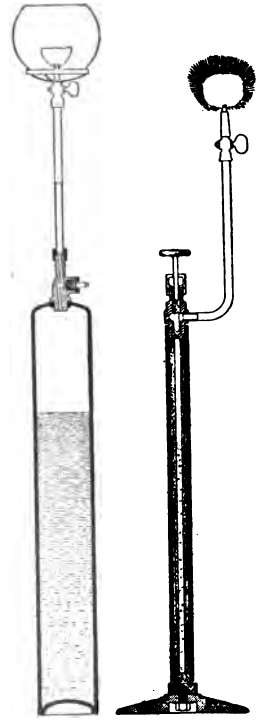


Fig. 90. — Lampes portatives à acétylène liquide.

voir, un détendeur, qui laisse toujours sortir le gaz avec une pression bien constante. La partie supérieure, comprenant le brûleur et le détendeur, est indépen-

dante du récipient, de sorte qu'elle peut s'enlever lorsqu'il est vide et se visser sur un autre.

Nous avons décrit plus haut (chap. XV) un certain nombre de dispositifs qui pourraient s'appliquer à de telles lampes, en particulier le récipient de M. Fournier.

CHAPITRE XXIII.

[illegible] DE LA BASE A L'ACÉTYLÈNE.

[illegible] — Prix de revient de [illegible]. — Conclusions.

Prix de revient et rendement du carbure de [illegible]. — Nous avons vu que les calculs effectués [illegible] *Aluminium C°*, [illegible] carbure de calcium à 167 fr. 44 [illegible] en Europe, à [illegible] le prix plus élevé de la [illegible] le prix de vente peut être fixé à [illegible] pour les quantités supérieures à 1 tonne, à [illegible] pour les quantités plus petites.

[illegible] influe encore notablement sur [illegible] le rendement du carbure en acétylène [illegible]. Nous avons vu que le [illegible] de 348 litres de gaz, mesurés [illegible] millièmes, par kilo- [illegible] produit de bonne fabrication [illegible].

Prix de revient de l'acétylène. — Admettons donc [illegible] francs la tonne, [illegible] et un rendement de

300 litres par kilogramme, qui est celui d'un carbure de bonne qualité, et comparons le prix de revient de la carcel-heure, fournie par l'acétylène, avec ceux qui correspondent aux autres modes d'éclairage.

TABLEAU I

PRIX DE LA CARCEL-HEURE AVEC LES DIVERS ILLUMINANTS

			PRIX	CONSOMMATION PAR CARCEL-HEURE	PRIX PAR CARCEL-HEURE
Bougie de l'Etoile.		le kg.	2f 40	80 gr.	0f 1920
Huile de colza.		—	1 30	45	0 0585
Huile de pétrole.		—	0 75	30	0 0225
Gaz. . .	Becs papillon et Manchester.	le mc.	0 30	137 lit.	0 0411
	Bec Bengel (30 ou 40 jets).			105	0 0315
	Bec du 4-Septembre. . .			108	0 0324
	Bec Wenham-Etoile. . .			100	0 0300
	Becs Parisien et Industriel.			50	0 0150
	Bec Auer.			20	0 0060
Electricité	Arc voltaïque, avec globe, intensité sphérique moyenne. . . .	le kilowatt-heure.	1 10	0,011 kw.	0 0121
	Incandescence. . . .			0,034	0 0380
Acétylène.	Lampe Violle (10 carcels). .	le mc.	1 80	5 lit. 56	0 0100
	Becs de 5 à 10 carcels. . .			7	0 0126
	Becs à faible débit. . . .			8	0 0144

Dans ces conditions, le prix du mètre cube d'acétylène est de 1 fr. 66 ; à ce prix, qui représente seulement les frais d'achat du carbure, il faut ajouter la main-d'œuvre et l'amortissement des appareils de production. La première dépense peut être négligée, car la manipu-

lation est si simple qu'elle peut être faite à temps perdu ; les appareils sont peu coûteux : on tiendra donc un compte suffisant de ces nouvelles dépenses en portant le prix du gaz à 1 fr. 80, ce qui fait, pour la carcel-heure, 0 fr. 01.

Pour comparer ce prix avec ceux que donnent, pour la même unité, les autres illuminants, nous prendrons, autant que possible, les prix ayant cours à Paris actuellement. Pour le bec Auer, nous avons adopté la consommation de 20 litres, qui est indiquée par la Société française d'incandescence par le gaz comme celle des derniers modèles. Cette comparaison donne les résultats ci-dessus (tableau I).

Conclusions. — Ces résultats sont tout à l'avantage de l'acétylène. On voit tout de suite que ce gaz constitue dès aujourd'hui un des agents d'éclairage les plus économiques : il peut rivaliser avec l'arc voltaïque et surpasse le pétrole ; le bec Auer seul l'emporte sur lui à ce point de vue. Mais il faut remarquer en outre que nous avons adopté pour l'acétylène un prix qui peut être regardé comme un maximum et pour les autres illuminants, au contraire, un prix moyen ou minimum. De plus, nous n'avons pas tenu compte, pour ces derniers, de la main-d'œuvre et des frais d'entretien, qui ont, pour quelques sources, une certaine importance. Pour le bec Auer, nous avons également négligé le remplacement des manchons et l'accroissement de consommation qui se produit avec le temps : cet accroissement est du reste devenu, dit-on, très peu sensible. Il

suffit d'admettre pour le carbure de calcium le prix de gros, soit 400 francs la tonne, ce qui permet d'évaluer à 1 fr. 50 le prix total du mètre cube d'acétylène, pour abaisser le prix de la carcel-heure, dans la lampe Violle, à 0 fr. 0083, prix qui correspond à un bec de gaz brûlant 28 litres.

Enfin, il suffirait que le prix du carbure s'abaissât à 300 francs pour que le prix de l'éclairage à l'acétylène devînt sensiblement égal à celui que donne le bec Auer, soit 0 fr. 0055 avec la lampe Violle, 0,007 et 0 fr. 008 avec les becs de plus faible intensité.

D'un autre côté, l'application de l'incandescence à l'acétylène lui permettrait de l'emporter, dès aujourd'hui, même sur le bec Auer; ainsi, le brûleur de M. Türr donnerait, d'après l'auteur, la carcel-heure avec une consommation de 2, 5 litres, soit une dépense de 0 fr. 0045, en adoptant le prix actuel de 1 fr. 80 par mètre cube.

CHAPITRE XXIV.

ÉCLAIRAGE DES VOITURES ET DES WAGONS DE CHEMINS DE FER.

Éclairage des voitures. — Éclairage des wagons de chemins de fer : expériences de la compagnie P.-L.-M. ; éclairage d'une gare ; expériences de la compagnie de l'Est ; expériences de la compagnie de l'Ouest ; chemins de fer étrangers. — Éclairage par un mélange d'acétylène et de gaz d'huile.

Éclairage des voitures. — L'acétylène convient bien à l'éclairage des voitures et des wagons de chemins de fer. On peut le préparer sur le véhicule lui-même ou emporter des récipients remplis d'acétylène comprimé ou liquéfié.

La Compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine a fait des essais, en 1896, sur une des voitures de la ligne Madeleine-Gennevilliers. Un gazogène, du système Létang et Serpollet, pesant 12 kilogrammes et pouvant produire, avec une seule charge, plus d'un mètre cube de gaz, fut installé sous l'escalier de la plate-forme d'arrière. Le débit se faisait sous une pression constante de 15 centimètres d'eau ; un système de chicanes annulait l'influence des trépidations.

Le gazogène fut relié par un joint hydraulique avec

une canalisation bien étanche, aboutissant aux diverses lanternes de la voiture. La lanterne intérieure contenait un papillon à gaz ordinaire, de faible débit; la lanterne d'arrière consommait moins de quatre litres par heure.

Bien que les résultats aient été satisfaisants, l'expérience n'a pas été, croyons-nous, prolongée assez longtemps pour être bien concluante.

Des essais analogues ont été effectués par la Compagnie générale des omnibus. La dépense pour un tramway s'élevait par heure à 0 fr. 07. L'appareil employé était également du système Létang et Serpollet. Encouragée par ces résultats, la Compagnie va installer à son dépôt d'Ivry une usine destinée à l'éclairage du dépôt lui-même et des voitures de la ligne Ivry-Les Halles au moyen de l'acétylène. Nous donnerons en appendice le rapport de M. Vieille au Conseil d'hygiène sur cette importante application de l'acétylène.

Éclairage des wagons des chemins de fer. — Des expériences plus complètes ont été exécutées par plusieurs Compagnies de chemins de fer.

Expériences de la Compagnie P.-L.-M. — A la Compagnie P.-L.-M., les essais ont eu lieu sous la direction de M. Chaperon, ingénieur en chef du service de l'éclairage. L'acétylène était préparé avec l'appareil de M. Bullier, décrit plus haut (page 179), qui a été imaginé spécialement pour cette application; le gaz était comprimé à 7 ou 8 kilogrammes dans des réservoirs en

[illegible] les résultats [illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	—	—	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	—	—	[illegible]	[illegible]	[illegible]
		[illegible] par carré.			
	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	—	—	[illegible]	[illegible]	1 88
	—	—	[illegible]	[illegible]	1 88
		[illegible] par carré.			
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2 64
		[illegible] par carré.			
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	25	3 33
		[illegible] par carré.			
	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible] 62	2 61
[illegible]	—	—	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	—	—	[illegible]	[illegible]	2 64
		[illegible] par carré.			
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible] 79	1 43
		[illegible] par carré.			

[illegible] dernier essai s'explique [illegible] étaient trop [illegible].

[illegible] que l'acétylène donne [illegible].

[illegible] exécuté. Deux réser[illegible] parallèlement sur le toit [illegible] qui aurait l'inconvénient, [illegible] d'exposer les réservoirs [illegible]. Ces réservoirs étaient munis d'un [illegible] régulateur du système Delamarre,

qui rendait constante la pression du gaz à la sortie des réservoirs et compensait les secousses supportées par le wagon.

Deux lanternes du fourgon étaient éclairées à l'acétylène, les deux autres au gaz riche[1]; les premiers becs dépensaient 14 à 15 litres, de façon à donner deux carcels, les autres étaient réglés au débit de 25 litres. Dans ces conditions, les becs à acétylène

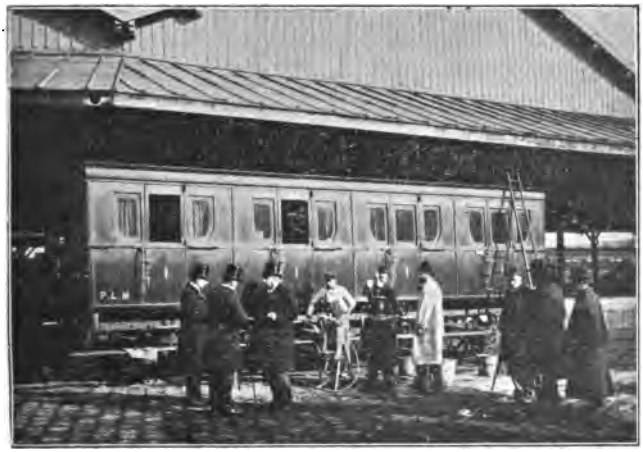


Fig. 91 — Expériences de la Compagnie P.-L.-M., effectuées sous la direction de M. Chaperon.

ont paru posséder un pouvoir éclairant environ 5 fois supérieur à celui du bec à gaz riche.

Les parties d'appareils en cuivre n'ont pas subi d'altération.

1. Ce gaz donne la carcel-heure pour une consommation de 34 litres.

[illegible] depuis ce moment, d'une [illegible]

[illegible] reste, est placé [illegible] de la gare et [illegible]

La charge est de 28 kilogrammes.

Le gaz est produit sous une pression de 0m.20. Avec [illegible] garnit mieux que précédemment les becs et moins de tendance à se gra[illegible]

Il est toutefois nécessaire de les nettoyer [illegible] pour au moyen d'une petite brosse très [illegible] cette précaution bien simple, l'éclairage se maintient toujours très brillant.

Expériences de la Compagnie de l'Est. — D'autres essais ont été effectués à la Compagnie de l'Est, en janvier 1879, sous la direction de MM. Dumont et [illegible]

Deux voitures de première classe furent munies de [illegible] renfermant 480 litres de gaz à la pression [illegible] grammes, préparé par l'appareil Bullier, et mises en service pendant 3 mois sur la ligne de Paris-Strasbourg. On fit aussi un essai de grande vitesse sur la ligne de Paris-Nancy. La lumière était d'une blancheur remarquable et absolument fixe, malgré les changements de vitesse et les chocs aux croisements. Les compartiments étaient assez bien éclairés pour qu'on pût lire facilement à toutes les places. Il suffisait de nettoyer les becs tous les trois ou quatre jours.

MM. Dumont et Hubou donnent les renseignements suivants sur la dépense occasionnée par les différents systèmes d'éclairage des wagons.

NATURE DE LA SOURCE	PRIX	CONSOMMATION PAR HEURE	DÉPENSE PAR HEURE	OBSERVATIONS
Lampe à huile.. les 100kg	54f	20 gr	0f 011	+ 0f0022 pour mèches et verres.
— pétrole de densité 0,900	58	20	0 0116	La Cie d'Orléans emploie 2 lampes par compartiment.
Gaz d'huile (voitures de 1re cl.) le m3.	0 72	25 l	0 018	
Acétylène. . .	1 50	12	0 018	Intensité = 1,5 carcel.
Lampe à incandescence de 10 bougies.. . .	»	»	0 028	Cie du Nord.

Ainsi, d'après ces essais, la dépense est la même avec l'acétylène qu'avec le gaz d'huile, qui donnait, jusqu'à ce jour, le meilleur éclairage pour les wagons de voyageurs, et l'on obtient en outre, à volume égal, 4,5 fois plus de lumière. L'acétylène offre donc, dès aujourd'hui, un procédé d'éclairage extrêmement commode pour les wagons, procédé qui deviendra en outre économique, dès que le prix du carbure de calcium diminuera.

On a observé que le phosphure d'hydrogène contenu dans l'acétylène peut donner, en brûlant, un peu d'acide phosphorique, qui attaque légèrement la cheminée en tôle des lampes, mais il en est de même avec le gaz d'huile, qui contient un peu d'acide sulfhydrique, et ces inconvénients sont minimes, comparés à l'action de la rouille.

Expériences de la Compagnie de l'Ouest. — MM. Ameline et Chevrier, ingénieurs de la Compagnie de l'Ouest, ont également fait, avec le concours de M. Clèraut, ingénieur en chef, des expériences, pendant deux mois, sur des voitures de première classe de la ligne de Paris-Auteuil.

L'appareil employé pour la production du gaz était établi sur les mêmes données que l'appareil de M. Bullier, et le carbure utilisé était fourni par la Société des carbures métalliques.

La Compagnie possédant des voitures éclairées au gaz riche, on s'est contenté de charger de gaz acétylène, sous la pression de 7 kilogrammes au maximum, comme pour le gaz riche, le réservoir de chaque voiture d'essai. Le gaz, après avoir été détendu à la pression de 70 millimètres, était envoyé au bec, où la flamme était régularisée au moyen d'une vis, comme pour le gaz riche.

Les becs employés ont été de différentes formes, bec Manchester, bec Ragot, etc., pouvant débiter de 10 à 15 litres.

On a observé qu'au bout d'un certain nombre d'heures d'éclairage, la flamme baissait d'intensité par le fait d'un dépôt de charbon à la naissance du bec.

Malheureusement, ces essais n'ont pas été poursuivis assez longtemps pour permettre de fournir des résultats conduisant à des conclusions quelque peu précises, la Compagnie ayant cru, par mesure de prudence, devoir les arrêter au moment de l'accident de l'atelier Pictet.

Chemins de fer étrangers. — De nombreuses expériences ont été aussi effectuées depuis peu de temps par les Compagnies étrangères, notamment en Allemagne et en Suisse par la Compagnie des chemins de fer de Berne.

Éclairage par un mélange d'acétylène et de gaz d'huile. — La maison Pintsch a fait aussi des essais pour éclairer les wagons de chemins de fer, non avec l'acétylène pur, qu'elle a jugé, paraît-il, trop dangereux, mais avec un mélange de gaz d'huile et d'acétylène. Avec 20 pour 100 d'acétylène, le pouvoir éclairant est trois fois plus grand que celui du gaz d'huile employé seul. Le gaz d'huile, compté à 0 fr. 50 le mètre cube, donne la bougie-heure à 0 fr. 00246 ; avec le mélange précédent, en estimant à 2 fr. 50 le mètre cube d'acétylène, sous la pression ordinaire des réservoirs de wagons, la bougie-heure reviendrait à 0 fr. 0015. En outre, ce système permet d'utiliser, sans y rien changer, le matériel déjà existant.

CHAPITRE XXV.

APPLICATIONS DIVERSES A L'ECLAIRAGE.

Emploi du carbure de calcium dans les lampes à incandescence. — Carburation du gaz de houille : pouvoir éclairant du mélange de gaz et d'acétylène : abaissement de la consommation du gaz de houille ; réduction de la dépense. — Remarque sur les propriétés du gaz de houille. — Dessiccation du gaz d'éclairage par le carbure de calcium.

L'éclairage n'est pas la seule application à laquelle puissent convenir l'acétylène et le carbure de calcium. Néanmoins, avant d'indiquer les autres, nous ferons connaître encore quelques essais d'applications, pour ainsi dire indirectes, à l'éclairage.

Emploi du carbure de calcium dans les lampes à incandescence. — On essaye en Amérique de remplacer le charbon par le carbure de calcium dans la fabrication des filaments des lampes à incandescence. D'après M. Bohlm, de New-York, cette substance, tout en étant assez conductrice pour livrer passage au courant, serait plus résistante et par conséquent s'échaufferait davantage, puisque, pour une même intensité, la quantité de chaleur dégagée dans un conducteur, en un même temps, est proportionnelle à sa résistance. Il est difficile de se prononcer encore sur la valeur de cette application, car le résultat dépend

aussi d'autres circonstances, par exemple du pouvoir émissif pour la lumière.

Carburation du gaz de houille. — Il est évident qu'on peut augmenter le pouvoir éclairant du gaz de houille en le mélangeant avec une petite quantité d'acétylène, à cause du pouvoir éclairant considérable que possède ce dernier gaz.

On pourrait ainsi éviter de distiller des houilles très riches, comme le cannel-coal, afin d'assurer au gaz un pouvoir éclairant déterminé ; peut-être même pourrait-on carburer des gaz pauvres, comme le gaz à l'eau ; mais ces gaz ont généralement le défaut d'être très toxiques, renfermant une proportion notable d'oxyde de carbone. Il est vrai que l'odeur de l'acétylène suffirait pour dénoncer les fuites.

Le mélange pourrait être fait à la sortie des gazomètres, ou bien chez le consommateur, qui, dans ce cas, recevrait le gaz de houille pur et possèderait un appareil à acétylène, qui devrait être facile à régler. La première solution est préférable, car il est inutile de laisser au consommateur, dès lors qu'il est obligé de rester en rapport avec une usine à gaz, la manipulation, toujours ennuyeuse et quelquefois même dangereuse, de l'appareil à acétylène.

Dans tous les cas, la différence des densités des deux gaz pourrait peut-être faire craindre que le mélange ne soit pas bien homogène.

On prétend aussi que, le gaz d'éclairage contenant de l'ammoniaque, ce mélange pourrait, au contact des

l'étendre cette étude à l'enrichissement du gaz pauvre, non pas du gaz à l'eau, dont l'usage ne paraît pas devoir être autorisé de longtemps, mais du gaz provenant de la distillation des houilles qui donnent un bon rendement en volume, avec un titre insuffisant.

D'après M. Hempel, le pouvoir éclairant du gaz de houille est modifié par le mélange avec l'acétylène à peu près comme il suit :

TABLEAU II

PROPORTIONS DU MÉLANGE		RAPPORT DES POUVOIRS ÉCLAIRANTS
GAZ	ACÉTYLÈNE	
100	0	1
90	10	1,6
80	20	3
70	30	4
60	40	5,2
50	50	6,4
40	60	8,5
30	70	13
20	80	20
10	90	23
0	100	24

M. Lewes a obtenu les résultats suivants tableau III, qui diffèrent peu de ceux de M. Hempel.

Le nombre donné par le tableau III, pour le rapport des pouvoirs éclairants de l'acétylène et du gaz d'éclairage, se rapproche plus que celui du tableau précédent de la valeur que nous avons indiquée plus haut.

TABLEAU III

PROPORTIONS DU MÉLANGE		RAPPORT DES POUVOIRS ÉCLAIRANTS
GAZ	ACÉTYLÈNE	
100	0	1
99,1	0,9	1,07
97,9	2,1	1,16
96,0	4	1,33
95,2	4,8	1,42
91,0	9,0	1,81
89,5	10,5	1,95
85,0	15,0	2,54
83,25	16,75	2,78
66,9	33,1	4,65
55,5	44,5	5,90
16,7	83,3	13,46
0	100	18,46

Abaissement de la consommation du gaz de houille. — M. Wedding a cherché dans quelles proportions le mélange avec l'acétylène réduit la consommation du gaz de houille, pour une intensité déterminée. Les deux gaz, contenus dans deux gazomètres distincts, traversaient, dès la sortie, des robinets qui en règlaient l'écoulement, et se mélangeaient aussitôt après. On peut déduire facilement des résultats obtenus les nombres du tableau IV.

On voit que l'addition d'acétylène diminue la consommation du gaz de houille d'abord assez vite, puis très lentement. Cette diminution est de plus de moitié avec 4 pour 100 d'acétylène, des deux tiers avec 8 pour 100; au delà de cette limite, elle devient extrême-

ment lente. Il semble donc, d'après les experiences de M. Wedding, inutile d'ajouter plus de 6 à 8 pour 100 du premier gaz.

TABLEAU IV

ACÉTYLÈNE 0/0	RAPPORT DES CONSOMMATIONS de gaz de houille
—	—
0	100,0
2	63,2
4	48,4
6	39,3
8	33,5
10	29,7
12	26,5
14	24,5
16	23,2
18	21,9
20	20,6
22	19,4

Réduction de la dépense. — Mais, ce qui importe le plus, c'est de déterminer dans quelles proportions le mélange est le plus économique, pour une intensité donnée. En admettant, comme plus haut, 0 fr. 30 pour le mètre cube de gaz de houille et 1 fr. 80 pour l'acétylène, on voit facilement que le prix de 100 mètres cubes du mélange des deux gaz augmente de 3 francs chaque fois qu'on remplace 2 mètres cubes du premier par un même volume du second. On peut ensuite calculer le prix de revient des divers mélanges contenus dans la seconde colonne du tableau IV, et l'on a les prix correspondant, pour ces mélanges, à une même intensité lumineuse, celle que donne une consommation de

plus, il paraît probable que, à partir de 6 à 8 0/0, l'augmentation des frais d'amortissement, d'entretien et de manipulation résultant de l'adjonction des appareils à acétylène compenserait l'économie due à l'accroissement du pouvoir éclairant. Il faudrait donc se borner à ajouter au gaz 6 à 8 0/0 d'acétylène ou adopter l'acétylène pur.

Remarque sur les propriétés du gaz de houille. — On affirme généralement qu'il suffirait de mélanger le gaz de houille avec l'acétylène pour l'éclairage, ce qui pourrait se faire chez les consommateurs au moyen d'un réservoir d'acétylène liquide ou dissous, et qu'on pourrait alors distribuer « un gaz moins riche en carbone, mieux approprié au chauffage et à la force motrice ». Il y a là une erreur dont il importe d'arrêter la propagation: le gaz le plus éclairant est en même temps le meilleur pour le chauffage et pour la force motrice. Nous ne pouvons mieux faire que de citer ici l'opinion de M. A. Witz *(Traité théorique et pratique des moteurs à gaz),* dont la compétence est indiscutable.

« Sir William Siemens a proposé, en 1881, de fractionner la distillation de la houille pour fabriquer un gaz spécialement destiné au chauffage; le gaz de la première heure aurait été recueilli séparément et appliqué à l'éclairage. Dans l'opinion du savant anglais, le gaz de la dernière heure, plus riche en hydrogène, mais relativement pauvre en carbures, devait posséder un pouvoir calorifique plus considérable. Cette erreur

primétrique démontre qu'un gaz mauvais par défaut d'épuration est généralement plus riche qu'un gaz parfaitement épuré ; c'est ce qui ressort à l'évidence d'une série d'essais que j'ai entrepris sur le gaz aux diverses étapes de sa fabrication. J'ai opéré sur un produit qui avait un pouvoir de 5 607 calories au sortir du collecteur et avant d'entrer aux condenseurs ; après les condenseurs et avant les scrubbers, le pouvoir n'était déjà plus que de 5 535 calories ; il tombait à 5 512 après le scrubber et devenait, après épuration, égal à 5 292. La perte dépasse donc 5 0/0.

« ... Le pouvoir calorifique est lié au pouvoir éclairant d'une manière bien plus étroite qu'on ne le croirait de premier abord ; il me serait aisé de le prouver par de nombreux arguments, mais je me contenterai de citer un très curieux travail de M. Hunt... Ce savant ingénieur s'est proposé de rechercher les variations de consommation correspondantes à la production d'un même travail, lorsque le pouvoir éclairant varie : il est arrivé aux résultats résumés dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU VI

POUVOIR ÉCLAIRANT DU GAZ en candles	CONSOMMATION EN PIEDS CUBES par cheval-heure indiqué	VALEUR EN LUMIÈRE	VALEUR EN TRAVAIL
11,96	30,31	1	1
17,20	22,70	1,435	1,338
26,00	16,26	2,173	1,864
29,14	15,00	2,436	2,020

« L'industriel a donc tout intérêt à employer pour la production de la force motrice un gaz doué d'un grand pouvoir éclairant : cela tient à ce que les carbures d'hydrogène, qui contribuent le plus à l'intensité de la lumière, sont en même temps les agents les plus importants au point de vue calorifique. »

Dessiccation du gaz d'éclairage par le carbure de calcium. — Une autre manière d'enrichir le gaz en acétylène, c'est de le faire passer sur du carbure de calcium. L'humidité qu'il contient décompose cette substance en donnant de l'acétylène, qui se mélange au gaz. On pourrait ainsi dessécher complètement le gaz, ce qui éviterait les condensations d'eau et la formation de glace dans les conduites, et augmenterait le pouvoir éclairant par l'addition d'acétylène. M. Willson a, dit le *Progressive Age*, pris un brevet pour cette application. Il suffirait de disposer le carbure, à la sortie des gazomètres, dans des caisses analogues à celles qui servent pour l'épuration chimique.

On peut se demander si une telle opération augmenterait d'une manière sensible le pouvoir éclairant. Supposons le gaz saturé d'humidité et cherchons combien 1 mètre cube peut prendre d'acétylène pour diverses valeurs de la température ambiante.

Les tensions maxima de la vapeur d'eau aux diverses températures, extraites des tables de Regnault, permettent de calculer la quantité de vapeur d'eau contenue dans 1 mètre cube d'air saturé à chaque température. On a

$$P = 1293 \times 0{,}622 \times \frac{F}{760} \times \frac{1}{1 + 0{,}00367\,t}$$

P étant la masse de la vapeur d'eau en grammes, F sa force élastique maxima en millimètres, t la température. 1 293 représente, en grammes, la masse du mètre cube d'air, et 0,00367 le coefficient de dilatation des gaz.

Mais il n'est pas nécessaire de calculer P pour avoir le volume d'acétylène produit par l'action de ce poids de vapeur sur le carbure de calcium. En effet, d'après la formule

$$\underset{}{C^2Ca} + \underset{2\text{ vol.}}{H^2O} = \underset{2\text{ vol.}}{C^2H^2} + CaO$$

on voit que l'eau, considérée à l'état de vapeur, donne un volume d'acétylène égal au sien. Or, on a 1 mètre cube de vapeur d'eau à la pression F, qui, ramené à 760 millimètres, occupera un volume V, donné par la loi de Mariotte, et qui sera, en litres

$$V \times 760 = 1000 \times F$$

D'où

$$V = \frac{1000}{760} F$$

Le tableau VII donne les valeurs de V, qui représentent la proportion d'acétylène pour 1 000 volumes du mélange, puisque ce gaz a pris exactement la place de la vapeur d'eau, et les forces élastiques maxima F ; nous y avons joint les masses de vapeur d'eau P, bien qu'elles n'entrent pas dans le calcul.

TABLEAU VII

TEMPÉRATURES *t*	FORCES ÉLASTIQUES MAXIMA F	MASSES DE VAPEUR D'EAU P	VOLUMES D'ACÉTYLÈNE V
0°	4mm 60	4gr 87	6l 03
5	6 53	6 79	8 57
10	9 16	9 35	12 02
15	12 70	12 74	16 67
20	17 39	17 15	22 82
25	23 55	22 83	30 91

On voit que, même en supposant que le gaz d'éclairage est complètement saturé de vapeur d'eau et que toute cette vapeur est absorbée par le carbure de calcium, la proportion d'acétylène introduite serait assez faible et varierait beaucoup avec la saison. En hiver, elle ne dépasserait pas 0,6 à 1,2 0/0, ce qui, d'après les expériences de M. Lewes citées plus haut, n'augmenterait le pouvoir éclairant que dans le rapport de 1 à 1,05 ou à 1,10 environ. En été, la proportion d'acétylène atteindrait 2 à 3 0/0, ce qui donnerait un pouvoir éclairant de 1,15 à 1,25 environ. Le résultat serait donc insignifiant ; pour le rendre plus sérieux, il ne suffirait pas que le gaz fût saturé de vapeur d'eau ; il faudrait en même temps injecter sur le carbure une quantité d'eau déterminée, ce qui compliquerait beaucoup l'opération. Sans cette précaution, le seul avantage obtenu serait de dessécher le gaz ; il serait, croyons-nous, à peu près compensé par une légère augmentation de main-d'œuvre.

De plus, nous avons admis, suivant la formule généralement employée, que toute l'humidité du gaz est transformée en acétylène et qu'il se produit de la chaux vive. En réalité, il ne peut en être ainsi : non seulement la chaux qui prend naissance est hydratée, mais encore elle peut retenir une certaine quantité d'eau, de sorte qu'on n'utiliserait même pas la moitié de l'humidité. Les chiffres ci-dessus devraient donc être encore diminués assez fortement.

CHAPITRE XXVI.

CHAUFFAGE ET FORCE MOTRICE.

Chauffage à l'acétylène. — Pouvoir calorifique du gaz de houille. — Pouvoir calorifique de l'acétylène. — Application de l'acétylène aux moteurs : machines marines ; moteur pour bicyclettes. — Expériences de M. Ravel.

Chauffage à l'acétylène. — L'acétylène peut être utilement appliqué au chauffage, car il produit en brûlant, à volume égal, deux fois et demie plus de chaleur que le gaz de houille. Il serait donc tout indiqué, dans une installation domestique d'éclairage à l'acétylène, d'utiliser en même temps ce gaz pour le chauffage.

Pouvoir calorifique du gaz de houille. — D'après M. A. Witz, on peut admettre pour le gaz d'éclairage type la composition suivante :

TABLEAU VIII

GAZ	TENEUR EN POIDS	TENEUR EN VOLUME
Hydrogène.	100 gr	1 116l 0
Oxyde de carbone.	150	119 6
Azote.	100	79 6
Méthane.	490	684 3
Ethylène et benzine..	130	103 6
Carbures divers.	30	12 0
	1 000 gr	2 115l 1

Le poids du mètre cube est de 473 grammes, ce qui donne 0,36 pour la densité relative à l'air.

Le tableau IX donne les quantités d'oxygène nécessaires pour brûler complètement chacun des gaz constituants et les chaleurs dégagées, en supposant que la vapeur d'eau produite ne se condense pas. On s'est servi, pour l'établir, des chaleurs de combustion déterminées par M. Berthelot :

Hydrogène.	2,64 calories
Oxyde de carbone.	3,05 —
Méthane.	9,55 —
Ethylène et carbures analogues.	15,29 —

M. Witz obtient ainsi :

TABLEAU IX

GAZ	HYDROGÈNE	OXYDE DE CARBONE	MÉTHANE	ÉTHYLÈNE	AUTRES CARBURES
Volume du combustible. .	1116l0	119,6	684,3	103,6	12
— comburant (oxygène).	558 0	59,8	1368,6	310,8	72
Chaleur dégagée par gramme de combustible. . . .	29cal500	2,435	13,34	12,19	8
Chaleur totale dégagée. . .	2950cal	365,25	6536,6	1581,7	240
Volume d'acide carbonique produit.	»	119l6	684,3	207,2	48
Volume de vapeur d'eau. .	1116l0	»	1368,6	207,2	48

On voit par ce tableau que la combustion de 1 kilogramme de gaz d'éclairage exige 2 369,2 litres d'oxygène ou 11 390 litres d'air, soit 5,4 fois le volume du

[illegible] calories, ce qui [illegible] à 0° et sous la [illegible].

[illegible] par M. Witz. Les [illegible] très divergents. Par [illegible]. M. Witz a [illegible] diverse, des nombres [illegible] calories. Ce dernier [illegible] exceptionnellement riche; [illegible] de 5000 à 5500 [illegible] 5250 calories à vo[illegible] 5300 calories à pres[illegible], la vapeur d'eau étant supposée entiè[illegible].

Pouvoir calorifique de l'acétylène. — Pour l'acétylène, la chaleur dégagée par la combustion d'une molécule comprend : 1° la chaleur due à la combustion de 2 atomes de charbon, soit $2 \times 96,96 = 193,92$ calories ; 2° la chaleur due à la combustion de 2 volumes d'hydrogène, qui est $2 \times 34,5 = 69$ calories ; 3° la chaleur dégagée par la décomposition de la molécule d'acétylène en ses éléments ; nous avons vu qu'elle s'élève à 60,5 calories.

La combustion d'une molécule ou de 26 grammes d'acétylène dégage donc 323,42 calories.

Pour 1 kilogramme, la chaleur de combustion sera de $323,42 \times \frac{1\,000}{26} = 12\,439$ calories et, pour 1 mètre cube, $12\,439 \times 1,293 \times 0,92 = 14\,797$ calories.

La méthode de la bombe calorimétrique a donné, pour 1 mètre cube,

1re	expérience. . . .	13 953
2e	—	14 002
3e	—	14 125
4e	—	13 742
5e	—	14 325
	Moyenne. . .	14 029

La chaleur de combustion de l'acétylène est donc supérieure à 2,5 fois celle du gaz d'éclairage moyen, ce qui permettrait de l'employer pour le chauffage.

Il faut remarquer cependant que, le prix de l'acétylène étant actuellement 6 fois environ plus grand que celui du gaz d'éclairage, il est peu probable que cette application se développe avant que ce prix se soit sensiblement abaissé.

Bien que la chaleur de combustion de l'acétylène soit très supérieure à celle du gaz d'éclairage, l'éclairage à l'acétylène développe cependant beaucoup moins de chaleur, à intensité lumineuse égale, puisqu'on n'en brûle qu'un volume beaucoup plus faible.

Dans tous les cas, l'acétylène pourrait être employé utilement au chauffage dans les laboratoires, où la question de dépense est secondaire ; d'après les expériences de M. Le Chatelier, rapportées 238, on obtiendrait, en le brûlant avec son volume d'oxygène, environ 4 000°, soit 1 000° de plus qu'avec la flamme du mélange oxhydrique.

Application de l'acétylène aux moteurs. — Nous avons dit plus haut que le pouvoir calorifique d'un gaz

est lié à son pouvoir éclairant ; nous venons de voir en effet que l'acétylène, doué d'un grand pouvoir éclairant, s'applique bien au chauffage. Pour la même raison, il doit convenir également aux moteurs. Quelques tentatives ont été faites, dont nous allons rendre compte.

Machines marines. — MM. Ihering et Slaby ont comparé les poids de houille, d'acétylène et de carbure de calcium que consommerait en 25 jours une machine marine de 1 000 chevaux et les volumes qu'occuperaient ces diverses substances sur un navire.

Avec la houille, en comptant 0,7 kilogramme par cheval-heure, il faudrait 420 tonnes, qui occuperaient un volume réel de 260 à 360 mètres cubes et un volume apparent de 300 à 400 mètres cubes. Pour le pétrole, on emploierait environ 257 tonnes, occupant 322 mètres cubes.

Avec l'acétylène liquide, on a admis une consommation de 180 grammes par cheval-heure, ce qui donne, pour 25 jours, une provision de 108 tonnes. Or la température, au fond du navire, est d'environ 35° ; la densité de l'acétylène liquide est alors 0,364, ce qui donne pour le volume des 108 tonnes 297 mètres cubes. Si l'on admet que, pour éviter les explosions, les récipients sont seulement à moitié remplis, à cette température, il faudrait un espace de 600 mètres cubes.

Supposons enfin qu'on produise l'acétylène sur le navire même, à mesure des besoins, avec du carbure de calcium. Théoriquement, il faut 64 tonnes de car-

bure pour avoir 26 tonnes de gaz ; pour 108 tonnes, il faudra 266 tonnes environ ; en tenant compte des impuretés, on peut admettre 300 tonnes. Comme la densité est 2,22, on trouve pour le volume réel 135 mètres cubes ; en tenant compte des vides, on peut compter 200 mètres cubes.

Ces résultats sont résumés dans le tableau X :

TABLEAU X

	DENSITÉ	POIDS	VOLUME APPARENT	CONSOMMATION par CHEVAL-HEURE
Houille.	1,15 à 1,60	420 t	300 à 400 mc	0,7 kg
Pétrole.	0,8	257	322	0,428
Acétylène liquide. .	0,364	108	600	0,180
Carbure de calcium.	2,22	300	200	»

C'est, comme on le voit, l'acétylure de calcium qui serait le moins encombrant : on n'a d'ailleurs pas tenu compte des chaudières nécessitées par l'emploi de la houille ou du pétrole, ni de l'épaisseur des récipients pour l'acétylène liquide. Au point de vue de l'encombrement, le carbure de calcium serait donc un excellent accumulateur d'énergie. Malheureusement, les auteurs ne donnent aucun renseignement sur la dépense.

Moteur pour bicyclettes. — D'après la *Rivista Technica,* M. Pedrotti, de Parme, aurait inventé un moteur vertical, à quatre temps, fonctionnant par un mé-

[illegible] et destiné à la pro-

[illegible] qui ne pèse pas [illegible] fonctionner 15 heures [illegible] par heure et fourni- [illegible] les générateurs.

[illegible] — M. Ravel a fait des [illegible] au Congrès de la Société [illegible] et dans lesquels il a com- [illegible] et avec l'air car- [illegible] de densité 0,710 à 0,720.

[illegible] dans un appareil où l'eau [illegible] automatiquement au débit; la [illegible] était de 160 à [illegible]

[illegible] le système Ravel, à deux [illegible] de 2,5 à 3 kilo- [illegible] dans de bonnes conditions pratiques [illegible] l'acétylène démontrèrent [illegible] de ses organes. L'allumage était [illegible] électrique. Un compteur de [illegible] était intercalé entre le moteur et le [illegible]

[illegible] possible les erreurs prove- [illegible] du moteur, soit de son grais- [illegible] refroidissement du cylindre, on in- [illegible] essai à l'acétylène, un essai [illegible]

[illegible] préliminaires, M. Ravel, quoi-

que habitué depuis longtemps au bruit des détonations des mélanges explosifs, fut « frappé, et même émotionné, des détonations brusques, violentes, produites par le mélange d'air et d'acétylène.

« La flamme produite par un mélange d'air et d'acétylène, sous une pression d'environ 100 grammes, est blanc jaunâtre, éblouissante, suivant le dosage, tandis que, sous cette pression, le mélange du gaz de houille produit une flamme couleur violet foncé, zébrée de filaments brillants, blancs et rouges. »

Le moteur ayant été mis en marche, on entendit, dès les premiers tours, des coups secs, métalliques, faisant vibrer la machine d'une façon inquiétante ; on se hâta de relever un diagramme, mais le levier de l'indicateur fut faussé sous la violence du choc. Après réparation, on put commencer enfin des essais sérieux, dont voici les résultats :

« J'ai tout d'abord constaté :

« 1° Que le graissage habituel du cylindre marchant au gaz de houille devait être au moins doublé avec la marche à l'acétylène ;

« 2° Que le degré du refroidissement du cylindre influe beaucoup plus sur le travail qu'avec le cylindre fonctionnant au gaz de houille.

« Dans ces conditions et afin de m'approcher le plus possible de l'exactitude des résultats, j'ai adopté pour les calculs le nombre de kilogrammètres indiqués produit par un litre de gaz acétylène consommé en une heure.

TABLEAU XI

NUMÉROS DES DIAGRAMMES	TOURS PAR MINUTE	TRAVAIL INDIQUÉ	GAZ PAR HEURE	KILOGRAMMÈTRES PAR LITRE DE GAZ	PROPORTION D'ACÉTYLÈNE	OBSERVATIONS
1	364	158,35	728	783	2,77 %	Compression 3k
2	350	169,70	804	760	3,18	—
3	314	150,60	780	695	3,45	—
4	300	172 »	912	679	4,20	—
5	322	—	936	—	4,00	—
6	320	—	948	—	4,10	—
7	314	167,6	744	811,2	3,30	Compression 2k 25
8	316	188,6	804	844,4	3,50	—

« Les diagrammes (fig. 93) qui ont été relevés, le moteur marchant au gaz de houille, correspondent aux mêmes conditions de vitesse et de force que ceux (fig. 92), relevés sur le moteur marchant à l'acétylène.

« On a ainsi un exposé graphique et comparé du mode de travail opéré avec le gaz de houille et l'acétylène.

« On voit, d'après ce tableau, que le travail indiqué décroît avec la proportion d'acétylène.

« La pression initiale croît avec le dosage, mais l'inspection des diagrammes montre que la chute de pression est immédiate ; l'expansion n'est pas soutenue.

« On voit aussi que, lorsque la proportion d'acétylène approche de 5 0/0, les explosions deviennent brisantes, et par suite les vibrations du levier de l'indicateur et

aussi de la charge explosive donnent des indications incertaines.

« D'après mes nombreuses expériences faites sur les

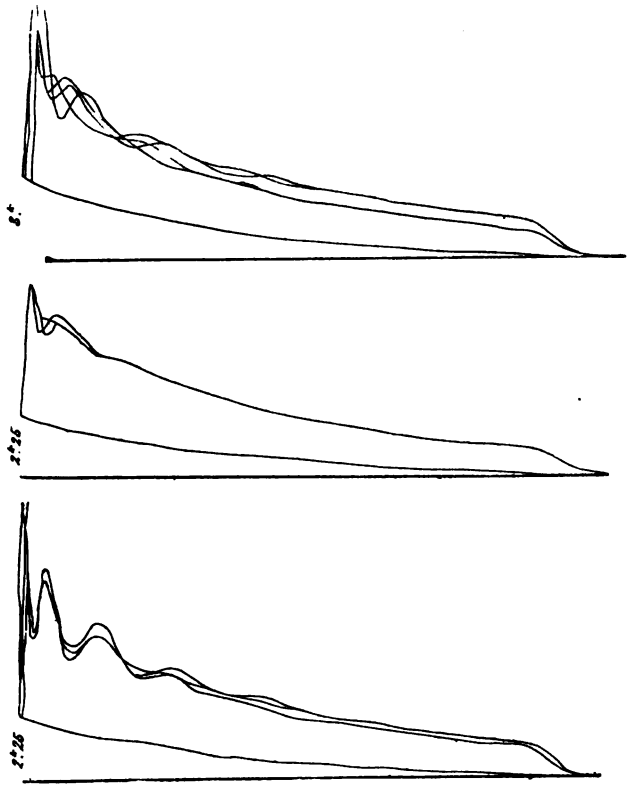


Fig. 92. — Diagrammes relevés avec l'acétylène.

mélanges détonants, je suis fondé à croire que la charge explosive est soumise à des vibrations internes pendant sa combustion.

« Voulant atténuer les vibrations indiquées par les diagrammes tels que celui de la fig. 94, j'ai augmenté le volume total et la charge au moment du feu, c'est-à-dire que le volume des résidus a été augmenté, mais la compression diminuée de 0,750 kilogramme.

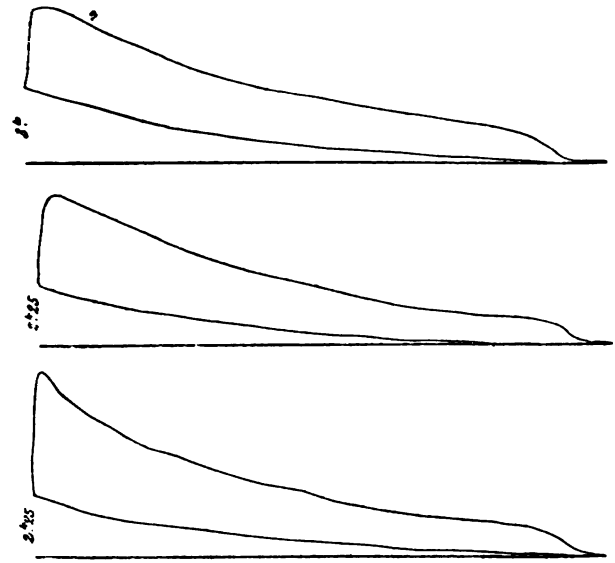


Fig. 93. — Diagrammes correspondants avec le gaz d'éclairage.

« C'est dans ces conditions qu'ont été obtenus les deux derniers diagrammes des fig. 92 et 93.

« Ils témoignent pour l'acétylène d'une expansion plus grande ; aussi le travail en est-il notablement augmenté.

« On peut conclure du tableau XI qu'un litre d'acéty-

lène produit, sur le piston d'un moteur type 2 chevaux, un travail de 860 à 870 kilogrammètres indiqués.

« Pour terme de comparaison, je dois dire que, dans le moteur sur lequel ont été faits les essais, la consommation normale est de 940 à 960 litres de gaz par cheval-heure pour 2 chevaux effectifs ; la force motrice moyenne est ainsi de 405 kilogrammètres indiqués par litre de gaz.

« Dans ce type de petit moteur, *la puissance de l'acétylène serait donc de 2,1 fois celle du gaz de houille.*

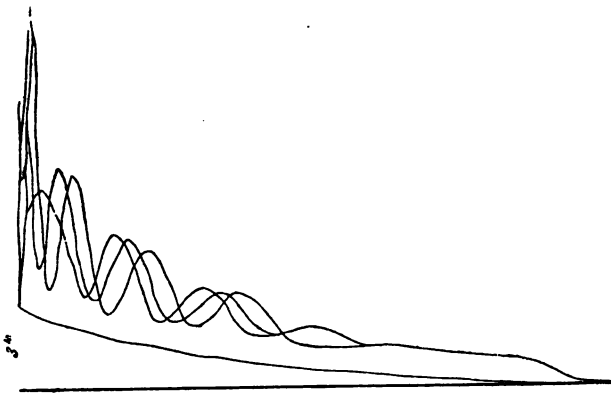


Fig. 94. — Diagramme primitif (acétylène).

« La consommation par *cheval effectif-heure* serait de $\frac{385\,700 \text{ kgm. indiqués}}{850} = 453$ litres d'acétylène, à la pression de 160 millimètres d'eau, représentant un volume d'environ 460 litres à la pression atmosphérique, soit en poids 550 grammes.

« Dans les grands moteurs, l'effet utile serait sans doute plus grand, mais la proportion resterait sensiblement la même...

« En résumé, je ne crois pas que la grande force explosive de l'acétylène puisse donner tout son effet utile sur les pistons des moteurs à gaz tonants tels qu'ils sont construits aujourd'hui, car on se trouvera en présence de cette alternative :

« 1° Ou le gaz acétylène sera employé à forte dose dans le mélange détonant, et alors il ne donnera que peu de travail utile, vu l'explosion brisante qui se produit ;

« 2° Ou on diluera l'acétylène dans une masse d'air, mais alors ce gaz ne donnerait pas assez de calorique pour élever suffisamment la masse gazeuse et lui faire donner, par son expansion, le travail dans des conditions économiques.

« Peut-être ce gaz trouvera-t-il son application dans les moteurs rotatifs ou turbines, mais on se trouvera dans cette voie, très épineuse par elle-même, en face de difficultés pratiques de premier ordre. »

M. Ravel n'a pu d'ailleurs pousser cette étude aussi loin qu'il le désirait, à cause de l'imperfection de l'appareil producteur d'acétylène.

CHAPITRE XXVII.

APPLICATIONS CHIMIQUES.

Importance de l'acétylène dans la chimie organique. — Fabrication du diiodoforme. — Préparation des corps de la série aromatique. — Préparation des corps de la série grasse. — Préparation de l'acide prussique et des cyanures. — Fabrication de l'alcool par synthèse : procédé de M. Berthelot ; autres procédés. — Fabrication du sucre. — Application à la métallurgie.

Importance de l'acétylène dans la chimie organique. — L'acétylène peut rendre de grands services à la chimie. Au point de vue théorique, son rôle est des plus importants : c'est le seul corps organique qui ait été reproduit par synthèse directe, à partir de ses éléments ; mais, à cause de la facilité avec laquelle il peut se transformer et s'unir aux autres corps, simples ou composés, il a permis d'obtenir par voie synthétique un grand nombre d'autres composés organiques. Il peut en particulier, par deux réactions successives, engendrer tous les corps à deux atomes de carbone. Ces réactions n'ont pas seulement un intérêt théorique ; beaucoup d'entre elles pourraient être appliquées dans l'industrie, si le prix de revient de l'acétylène s'abaissait suffisamment.

Fabrication du diiodoforme. — Une application,

indiquée par M. Maquenne et réalisée par M. Adrian, fonctionne déjà depuis deux ans ; c'est la fabrication du diiodoforme C^2I^4, qui s'obtient par l'action de l'acétylène sur l'iode, en solution alcaline ; ce corps remplace l'iodoforme CHI^3, dont il partage les propriétés antiseptiques, sans en avoir l'odeur désagréable et persistante.

Préparation des corps de la série aromatique. — En passant dans un tube chauffé au rouge, l'acétylène pourrait facilement se polymériser et se transformer en benzine C^6H^6, puis en styrolène C^8H^8, en naphtaline $C^{10}H^8$ et en anthracène $C^{14}H^{10}$.

La benzine est le point de départ de la série aromatique et l'un des corps les plus importants de ce groupe. Outre ses propres applications, elle sert à préparer diverses substances intéressantes. L'action de l'acide nitrique fumant donne la *nitrobenzine* $C^6H^5(AzO^2)$, qui est employée en parfumerie, sous le nom d'*essence de mirbane*, et qui sert aussi à fabriquer l'*aniline* $C^6H^5(AzH^2)$, base de nombreuses matières colorantes utilisées dans l'industrie.

Traitée par l'acide sulfurique fumant, la benzine se transforme en acide phénylsulfureux $C^6H^5(SO^3H)$, et le sel de potassium de cet acide, fondu au creuset d'argent avec un excès de base, donne le phénol $C^6H^5.OH$, sous la forme de phénate de potassium :

$$C^6H^5(SO^3K) + 2KOH = C^6H^5.OK + SO^3K^2 + H^2O$$

Le phénol à son tour, traité par l'acide nitrique,

peut fournir le phénol trinitré ou acide *picrique* $C^6H^2(AzO^2)^3.OH$, employé pour la teinture en jaune et pour la fabrication des matières explosives.

L'anthracène sert actuellement à fabriquer l'*alizarine,* matière colorante qu'on extrayait autrefois de la racine de garance. Pour cela, l'anthracène est transformée par oxydation (acide acétique et bichromate de potassium) en *anthraquinone* $C^{14}H^8O^2$; celle-ci est convertie en anthraquinone bibromée $C^{14}H^6Br^2O^2$, qui, fondue avec la potasse, donne l'alizarine (sous forme de combinaison avec cette base)

$$C^6H^4 \begin{matrix} CO \\ CO \end{matrix} > C^6H^2Br^2 + 2KOH = C^6H^4 \begin{matrix} CO \\ CO \end{matrix} > C^6H^2(OH)^2 + 2KBr$$

La naphtaline présente peu d'applications.

Préparation des corps de la série grasse. — Nous avons vu que l'acétylène, chauffé au rouge avec de l'hydrogène, ou mieux traité par l'hydrogène naissant, donne l'éthylène C^2H^4 et l'éthane C^2H^6. L'éthylène pourrait servir, comme nous le verrons plus loin, à la fabrication de l'alcool.

Par oxydation, il pourrait fournir les acides *acétique, formique, oxalique ;* il peut aussi se transformer en *aldéhyde,* employée pour l'argenture des miroirs et la fabrication des essences.

L'alcool pourrait à son tour servir à préparer une foule de composés, notamment l'éther éthylique, appelé communément *éther sulfurique,* et un certain nombre d'éthers sels.

Préparation de l'acide prussique et des cyanures.

— Combiné avec l'azote, l'acétylène pourrait donner l'acide cyanhydrique, qu'on emploierait ensuite à la fabrication des cyanures.

Fabrication de l'alcool par synthèse. — De toutes les réactions que nous venons d'énumérer, la production artificielle de l'alcool par voie de synthèse serait incontestablement la plus importante.

L'alcool, en effet, était primitivement extrait par distillation du vin et des autres liquides alcooliques; mais, par suite de l'accroissement de la consommation et de l'abaissement de la production du vin, on a dû transformer en alcool des liquides sucrés et même recourir à l'emploi des matières amylacées, préalablement soumises à la saccharification. C'est ainsi qu'on extrait des betteraves, des mélasses, des pommes de terre, des topinambours, des graines, etc., des alcools, improprement désignés sous le nom d'*alcools d'industrie,* et qui ont besoin d'être soigneusement rectifiés avant d'être livrés à la consommation, car ils sont chargés de produits nuisibles. Or, en rectifiant 100 litres de ces alcools, on n'obtient que 37 litres d'*alcool de cœur,* exempt de produits vénéneux. 17,3 0/0 environ d'alcool mauvais et moyen goût rentrent dans la fabrication pour être distillés de nouveau; le reste, qui est encore fortement chargé de produits nuisibles et moins volatils (aldéhydes et alcools de queue), est malheureusement livré à la consommation sous les noms d'*alcool au cours* et d'*alcool extra-fin* et baptisé des noms de cognac, absinthe, bitter, curaçao, etc.,

après avoir été additionné de caramel, de fenouil, de menthe, de coriandre, etc.

C'est à l'ingestion de ces produits de mauvaise qualité, chargés d'*alcools de queue* fortement toxiques, qu'il faut attribuer les ravages de l'alcoolisme. Il serait donc à désirer, à tous les points de vue, que la chimie pût fournir aux industriels, pour suppléer à la rareté de l'alcool extrait du vin, un produit non vénéneux. Ce résultat pourrait être atteint au moyen de l'acétylène.

Procédé de M. Berthelot. — M. Berthelot a fait le premier la synthèse de l'alcool, à un point de vue purement théorique. L'acétylène est transformé en éthylène, comme nous l'avons vu plus haut; ce gaz est mis en contact, sur le mercure, avec l'acide sulfurique concentré ; on agite violemment pendant trois quarts d'heure (3 000 secousses environ) : il se forme de l'acide *éthylsulfurique* ou sulfovinique.

$$C^2H^4 + SO^2 \begin{matrix} OH \\ OH \end{matrix} = SO^2 \begin{matrix} OH \\ O.C^2H^5 \end{matrix}$$

Cet acide est étendu de 8 à 10 fois son volume d'eau, puis soumis à la distillation: l'acide sulfurique se reforme et il passe un mélange d'eau et d'alcool.

$$SO^2 \begin{matrix} OH \\ O.C^2H^5 \end{matrix} + H - OH = SO^2 \begin{matrix} OH \\ OH \end{matrix} + C^2H^5 - OH$$

On isole l'alcool par une seconde distillation et par l'emploi du carbonate de potassium.

On voit que l'acide sulfurique est régénéré, mais étendu d'eau ; il ne peut donc rentrer dans la fabrica-

tion qu'après avoir été ramené à la concentration primitive.

Le *Moniteur de l'Industrie du gaz* donne le calcul théorique du prix de revient de l'alcool par ce procédé.

Pour obtenir 100 litres d'alcool, il faudrait employer :

Carbure de calcium.	139 kg 13
Hydrogène.	4 35
Acide sulfurique concentré. .	213 05

Dans ce calcul, le carbure de calcium est compté à 0 fr. 10 le kilogramme ; c'est, d'après ce que nous avons vu, un prix beaucoup trop faible. Nous pouvons l'évaluer à 0 fr. 20, ce qui est à peu près le prix de revient, en supposant que le carbure et l'alcool se fabriquent dans la même usine ; dans le cas contraire, il faudrait prendre 0 fr. 40.

140 kg de carbure de calcium, à 0,20 fr. . .	28 f »
4 kg 35 d'hydrogène, à 3 f 50.	15 25
Sel absorbant pour régénérer l'acide sulfurique.	1 50
Main-d'œuvre et combustible.	2 »
Entretien et réparations du matériel. . . .	1 50
Amortissement, intérêt, frais généraux. . .	5 »
	53 f 25

Comme l'alcool d'industrie vaut actuellement environ 29 à 30 francs l'hectolitre, on voit que ce prix de revient est beaucoup trop élevé ; il le serait encore si le prix du carbure venait à diminuer de moitié.

En outre, l'application de cette méthode n'est pas sans présenter quelques difficultés au point de vue pratique. On a proposé le dispositif suivant.

On se sert de l'appareil imaginé par Sainte-Claire-

Deville pour la préparation intermittente de l'hydrogène (fig. 95), et qui se compose de deux flacons, tubulés à la partie inférieure et réunis par un tuyau de caoutchouc. Dans l'un de ces flacons B, qui est hermétiquement fermé par un bon bouchon muni d'un robinet R, on met, non du zinc, comme pour la préparation de l'hydrogène, mais un mélange de zinc et de carbure de calcium, dans la proportion de 2,5 kilogrammes du premier corps pour

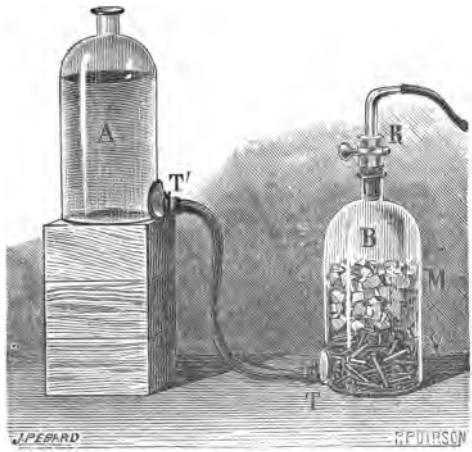


Fig. 95. — Appareil pour la production de l'éthylène.

2 kilogrammes du second. L'autre flacon A, qui est ouvert, reçoit de l'eau acidulée, contenant 3,2 kilogram. d'acide sulfurique pour 5 litres d'eau. Si l'on élève ce dernier flacon, l'eau acidulée attaque à la fois le zinc et le carbure de calcium : l'hydrogène et l'acétylène naissants se combinent pour former de l'éthylène, qui s'échappe par le robinet R. Si l'on ferme ce robinet et

qu'on abaisse le flacon ouvert, le liquide est refoulé par les gaz qui se produisent et cesse bientôt d'attaquer le zinc et le carbure.

Sur la figure 96, qui représente l'appareil complet, C est le flacon renfermant le zinc et le carbure, D le flacon rempli d'eau acidulée.

En sortant de l'appareil producteur, l'éthylène passe dans un appareil à boules B contenant de l'acide sulfurique chaud, qui le transforme en acide éthylsulfurique; celui-ci, une fois formé, coule dans un ballon A où il est soumis à la distillation. L'alcool passe ensuite dans un tube G, contenant des copeaux de cuivre ou toute autre substance pour le dessécher et le purifier, et se condense dans le récipient F.

Il nous paraît difficile d'obtenir ainsi une transformation complète de l'acétylène en éthylène, puis de ce dernier en acide éthylsulfurique.

Autres procédés. — Au lieu de faire agir directement l'acétylène sur l'hydrogène, on peut employer une des méthodes indirectes que nous avons signalées plus haut, par exemple faire absorber ce gaz par une dissolution de protoxyde de chrome dans l'ammoniaque, additionnée de chlorhydrate d'ammoniaque. Le peroxyde de chrome formé serait ensuite réduit en protoxyde par le fer ou le zinc agissant sur l'acide sulfurique.

M. Caro propose de transformer l'acétylène en biiodure d'éthylène $C^2H^4I^2$ ou diiodhydrate d'acétylène, par l'action d'une solution aqueuse d'acide iodhydrique.

Ce liquide, qui bout à 175°, peut être transformé directement en alcool par l'action de l'eau, du zinc et de l'oxyde de zinc. On emploie 10 à 15 poids d'eau et l'on chauffe, sous pression, à 140 ou 150°.

$$C^2H^4I^2 + Zn + H^2O = C^2H^5 - OH + ZnI^2$$

Le liquide refroidi, soumis à la distillation, donne de l'alcool pur. L'iodure de zinc serait transformé de nouveau en acide iodhydrique.

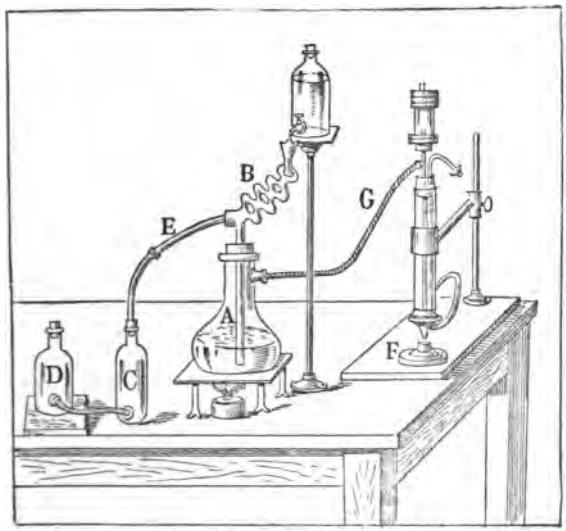


Fig. 96. — Appareil pour la synthèse de l'alcool.

On pourrait encore transformer l'acétylène en éthylène, puis celui-ci en éther iodhydrique C^2H^5I, en le chauffant à 100° avec l'acide iodhydrique concentré.

Cet éther, chauffé légèrement avec l'acétate d'argent sec, donnerait l'éther acétique

$$C^2H^5I + C^2H^3AgO^2 = C^2H^3(C^2H^5)O^2 + AgI$$

Enfin l'éther acétique, saponifié par la potasse aqueuse, fournirait de l'alcool et de l'acétate de potassium

$$C^2H^3(C^2H^5)O^2 + K - OH = C^2H^5 - OH + C^2H^3KO^2$$

L'iodure d'argent et l'acétate de potassium obtenus comme sous-produits pourraient sans doute trouver un emploi.

Parmi ces diverses méthodes, il y en a qui sont excellentes pour effectuer, dans les laboratoires, la synthèse théorique de l'alcool, mais aucune ne peut, actuellement, se prêter à une fabrication industrielle et fournir un prix de revient rémunérateur. Mais il est incontestable que, si l'une de ces méthodes devenait pratiquement applicable, elle produirait une véritable révolution dans l'industrie de l'alcool.

Fabrication du sucre. — Nous signalerons, seulement pour mémoire, qu'on a proposé de fabriquer le sucre $C^{12}H^{22}O^{11}$ en combinant successivement l'acétylène avec de l'acide carbonique et avec de l'eau. La formule du sucre peut en effet se décomposer ainsi :

$$C^{12}H^{22}O^{11} = 4C^2H^4 + 4CO^2 + 3H^2O$$

Reste à trouver une méthode pour produire pratiquement ces combinaisons.

Applications à la métallurgie. — Quelques tentatives ont été faites pour utiliser le carbure de calcium et l'acétylène dans la métallurgie.

L'acétylène peut servir à carburer le fer et le transformer en acier. Une plaque de fer, chauffée dans un courant de ce gaz, se cémente rapidement et fournit un acier dur et exempt de soufflures.

On a essayé aussi en Allemagne de carburer l'acier par le carbure de calcium, au convertisseur basique. Les résultats ont été insignifiants au point de vue de la carburation, et le calcium exerce plutôt une influence nuisible.

CHAPITRE XXVIII.

AVANTAGES DE L'ACÉTYLÈNE.

Inconvénients reprochés à l'acétylène. — Odeur de l'acétylène. — Action de l'acétylène sur le cuivre et les autres métaux.

Inconvénients reprochés à l'acétylène. — Nous avons vu dans les chapitres précédents, que l'acétylène possède de nombreux avantages et peut convenir à un grand nombre d'applications. On lui reproche, à tort, du reste, de posséder de graves défauts : on l'accuse d'avoir une odeur désagréable, d'attaquer les métaux et de former des composés dangereux, enfin d'être difficile à utiliser.

Odeur de l'acétylène. — La première critique n'est pas sérieuse. Certes, l'acétylène possède une mauvaise odeur ; c'est une propriété qu'il partage avec tous les gaz employés à l'éclairage, comme le gaz de houille et le gaz d'huile, mais c'est une propriété précieuse et qu'on doit bien se garder de faire disparaître, car elle décèle les fuites et empêche bien des accidents. Ce qui rend l'oxyde de carbone si dangereux, c'est que nulle odeur ne révèle sa présence et l'on peut être asphyxié sans être averti du danger ;

le gaz de l'eau possède la même propriété. On pourrait, il est vrai, enlever la mauvaise odeur de l'acétylène par une purification complète ou la masquer par l'addition d'un produit d'odeur agréable : le premier procédé serait coûteux et enlèverait toute sécurité ; quant au second, il provoquerait certainement bien des imprudences, qui pourraient avoir des suites extrêmement graves.

Action de l'acétylène sur le cuivre et les autres métaux. — On reproche encore à l'acétylène d'attaquer les métaux et de former en particulier avec le cuivre un acétylure explosif et très dangereux. M. Torrey recueillit en effet, en 1839, cet acétylure, sous la forme d'un dépôt brunâtre, dans les conduites de gaz de New-York, qui étaient alors en cuivre, et M. Crova fit de son côté une observation analogue. D'un autre côté, M. Berthelot a montré que l'acétylène n'a pas d'action directe sur les métaux, cuivre, platine, aluminium, etc. Ainsi l'acétylure de cuivre ne se produit pas directement : sa formation exige, comme nous l'avons vu plus haut, la présence de l'acétylène, de l'ammoniaque et d'un sel de cuivre au minimum.

« Ce sont là, dit M. Bullier, des conditions bien difficiles à réaliser involontairement. Dans la pratique, les sels de cuivre que l'on rencontre étant toujours au maximum d'oxydation, nous n'avons donc rien à craindre de ce côté...

« Depuis bientôt deux années, j'ai en service, dans mon laboratoire de la rue de Buffon, des appareils en

cuivre qui se trouvent en contact direct avec le gaz venant du générateur, ainsi que toute la robinetterie de cette petite usine, et je n'ai jamais eu à observer la moindre production d'acétylénure de cuivre. Le cuivre se recouvre parfois d'une légère couche brunâtre, surtout quand le milieu ambiant est humide ; ce produit n'est autre qu'un dépôt charbonneux résultant de l'action de l'acétylène sur des sels de cuivre au maximum d'oxydation, et non de l'acétylénure de cuivre. »

M. Bullier a constaté également qu'une lame de cuivre parfaitement décapée peut rester exposée, pendant plusieurs jours, à l'action de l'acétylène, sans cesser d'être aussi brillante qu'au commencement de l'expérience.

D'ailleurs, il nous semble qu'on a fortement exagéré les dangers que peut offrir l'acétylure de cuivre : introduit dans la flamme d'un bec Bunsen, ce produit décrépite légèrement, mais ne fait pas explosion.

CHAPITRE XXIX.

TOXICITÉ DE L'ACÉTYLÈNE.

Toxicité de l'acétylène. — Expériences de MM. Berthelot et Cl. Bernard. — Expériences de M. Brociner. — Expériences de MM. Malvoz et Crismer. — Expériences de M. Birchmore. — Observations de M. Moissan. — Expériences de M. Gréhant ; grisoumètre ; degré de toxicité ; conclusions pratiques. — Comparaison de l'acétylène et du gaz d'éclairage. — Séparation de l'acétylène et de l'oxyde de carbone. — Élimination de l'acétylène après un empoisonnement partiel. — Toxicité des produits de combustion de l'acétylène. — Action de la flamme de l'acétylène sur l'organe de la vue. — Rôle antiseptique de l'acétylène.

Toxicité de l'acétylène. — L'acétylène est-il seulement irrespirable, comme le sont la plupart des gaz, ou bien est-il capable d'agir sur l'organisme comme un véritable poison? Dès que ce gaz fut connu, on s'est préoccupé de la question, mais ses nouvelles applications ont ramené l'attention sur ce sujet et provoqué des expériences plus complètes.

Expériences de MM. Berthelot et Cl. Bernard. — Il y a une trentaine d'années, MM. Berthelot et Cl. Bernard firent respirer à des moineaux de l'air mélangé avec quelques centièmes d'acétylène pur et constatèrent que ces oiseaux ne paraissaient pas souffrir d'une manière notable.

Expériences de M. Brociner. — Dans une thèse

présentée à l'École de Pharmacie en 1887, M. Brociner, qui opérait sur des cobayes, est arrivé à des conclusions analogues. Il a employé des mélanges contenant

AIR	ACÉTYLÈNE
—	—
99	1
95	5
90	10
80	20
50	50

L'animal en expérience était installé sur une platine de verre recouverte d'une cloche ; le mélange gazeux, contenu dans un gazomètre du Dr de Saint-Martin (fig. 97) était introduit dans la cloche par une tubulure placée à la partie supérieure et s'échappait par une ouverture pratiquée dans la platine. Les cobayes pouvaient rester plusieurs heures en expérience sans succomber.

M. Brociner conclut que l'acétylène n'est pas toxique; il a résumé comme il suit les résultats obtenus :

« 1° Le sang dissout environ les $\frac{80}{100}$ de son volume d'acétylène ;

« 2° L'examen spectroscopique du sang chargé d'acétylène ne révèle rien de particulier : cette solution se comporte exactement comme le sang oxygéné normal et se réduit de la même façon et avec la même vitesse sous l'influence du sulfhydrate d'ammoniaque ;

« 3° Sous l'influence du vide, le sang perd l'acétylène qu'il contient. La plus grande partie du gaz se

dégage à froid, mais il est nécessaire de chauffer à 60° pour extraire la totalité.

« 4° Dans les solutions qui ont subi la putréfaction, la dose de l'acétylène qu'on peut extraire dans le vide

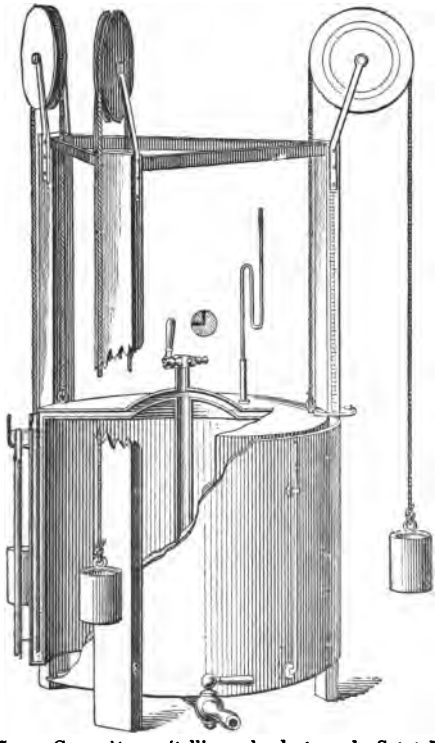


Fig. 97. — Gazomètre métallique du docteur de Saint-Martin.

va en diminuant avec le temps ; il est à noter que le volume d'acétylène extrait à froid reste toujours à peu près le même, et que c'est le volume du gaz extrait à

chaud qui devient plus faible à mesure que la putréfaction est plus complète ;

« 5° S'il existe une combinaison réelle de l'acétylène et de l'hémoglobine, cette combinaison est certainement très instable et n'est nullement comparable, sous ce rapport, à la combinaison que forme l'hémoglobine avec l'oxyde de carbone.

« 6° L'acétylène, conformément aux conclusions de M. Berthelot, paraît n'exercer qu'une action toxique excessivement faible et qui n'est pas plus marquée que celle des carbures d'hydrogène ordinaires, tels que le formène, l'éthylène, le propylène. Les animaux, soumis à l'action de mélanges renfermant des doses considérables d'acétylène, ne succombent pas, même au bout de plusieurs heures, si l'on a soin d'opérer en présence d'une quantité d'oxygène suffisante, et de renouveler le mélange gazeux de manière à empêcher l'accumulation des produits de la respiration de l'animal. »

Expériences de MM. Malvoz et Crismer. — En 1893, MM. Malvoz et Crismer, en Belgique, ont également soumis des cobayes à l'action de l'acétylène, préparé par la méthode de M. Maquenne, seule connue à cette époque, c'est-à-dire par l'action du carbure de baryum sur l'eau. Ces animaux pouvaient séjourner assez longtemps sans succomber dans une atmosphère contenant jusqu'à 50 0/0 d'acétylène, pourvu que le gaz fût renouvelé. Dans le cas contraire, l'animal meurt au bout de une heure vingt minutes, un peu plus tôt seulement que dans l'air confiné.

« Il résultait de nos observations que l'acétylène ne pouvait être considéré comme un gaz toxique au vrai sens du mot et que, en tout cas, il n'y avait pas la moindre assimilation à établir entre le sang d'un animal ayant respiré l'acétylène et le sang oxycarboné.

« L'acétylène, évidemment, est irrespirable, tout comme l'azote, l'hydrogène, mais on ne peut prétendre qu'il produit l'empoisonnement des animaux à la suite de combinaisons du genre de l'oxycarbo-hémoglobine. »

Expériences de M. Birchmore. — D'autres expérimentateurs affirmaient au contraire que l'acétylène est toxique. Ainsi MM. Bistrow et Liebreich prétendaient qu'il se combine avec l'hémoglobine du sang pour former un composé analogue à celui que fournit l'oxyde de carbone, mais moins stable et décomposé par le sulfure d'ammonium.

Un médecin américain, M. Birchmore, soutint, en 1895, qu'une proportion de $\frac{1}{10000}$ d'acétylène, insuffisante pour rendre sensible l'odeur caractéristique de ce gaz, provoque, au bout de 20 minutes, un violent mal de tête ; un séjour plus long dans cette atmosphère lui causa des troubles de la vue. « C'était, dit-il, une grave imprudence : pendant une heure, après avoir quitté le lieu de l'expérience, je respirai difficilement, et j'éprouvai, pendant plusieurs heures, des nausées, une prostration générale et une sensation d'épuise-

ment, qui m'obligèrent à rester au lit le lendemain. Les effets ressentis n'étaient pas ceux du sommeil, mais, au contraire, les effets subjectifs des narcotiques éthérés : hallucination et phénomènes connexes. Trois jours après, les mouvements du cœur étaient encore si sensibles qu'en essayant de traverser rapidement, à pied, le pont de Brooklyn, je ressentis une sensation d'épuisement qui me força à m'arrêter. »

Observations de M. Moissan. — Les conclusions de M. Birchmore n'ont pas été vérifiées, en Europe, par les personnes qui se sont occupées de l'acétylène. Ainsi, M. Moissan, qui, dans ses expériences sur la préparation, au four électrique, du carbure de calcium pur et cristallisé, a eu l'occasion de manier de grandes quantités d'acétylène, a observé que le gaz pur produit dans ces conditions a une odeur éthérée très agréable, et il a pu en respirer souvent de petites quantités sans être incommodé. Lorsque le carbure de calcium est préparé avec de la houille et de la chaux impures, il peut renfermer des sulfures et phosphures de calcium et possède une très mauvaise odeur.

Expériences de M. Gréhant. — M. Gréhant avait observé depuis longtemps que les rongeurs, lapins, cobayes, sont beaucoup plus réfractaires que les autres animaux à l'empoisonnement par l'oxyde de carbone[1] ; ainsi il faut $\frac{1}{60}$ de ce gaz dans l'air pour tuer un lapin

1. Gréhant, *Les poisons de l'air* (Bibliothèque scientifique contemporaine).

en moins d'une heure et il suffit d'une dose 4 fois moindre, $\frac{1}{250}$, pour tuer un chien dans le même temps. Il pensa donc qu'il pouvait en être de même pour l'action de l'acétylène, ce qui pouvait infirmer les résultats de toutes les expériences antérieures. Il a donc pensé qu'il était utile d'opérer sur d'autres animaux et il a choisi le chien et le pigeon.

M. Gréhant s'est servi de mélanges titrés d'air et d'acétylène, dans lesquels on maintenait la proportion normale d'oxygène, par des additions de ce gaz en proportions convenables. Ces mélanges étaient renfermés dans un gazomètre en laiton, du Dr de Saint-Martin, placé à l'air libre, pour éviter les accidents. L'acétylène était préparé avec du carbure de calcium provenant du laboratoire de M. Moissan; ce carbure était placé dans une bouteille à mercure en fer, où l'on faisait arriver l'eau peu à peu. On vérifiait la pureté du gaz par sa réaction sur le chlorure cuivreux ammoniacal.

Grisoumètre. — Après chaque expérience, le sang de l'animal est analysé au moyen du grisoumètre de Coquillion, modifié par M. Gréhant. Pour cela, le sang est injecté dans un récipient vide, maintenu à 37° (fig. 98), et relié avec une machine pneumatique à mercure. On extrait les gaz du sang au moyen de cette machine et on les fait passer dans le grisoumètre.

Cet appareil (fig. 99) se compose d'un fil de platine enroulé en spirale, disposé dans une ampoule A et com-

[illegible] avec les deux pôles d'une pile (fig.

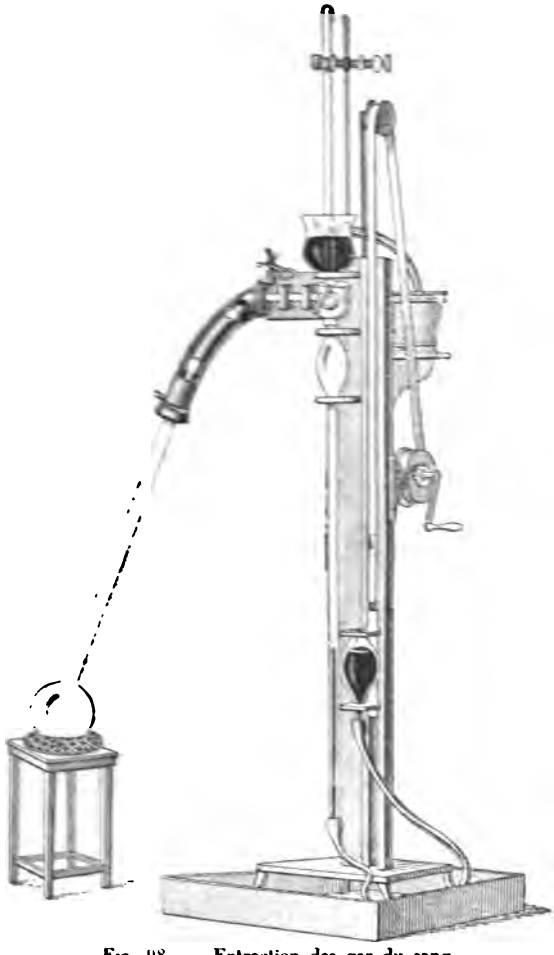


Fig. 98. — Extraction des gaz du sang.

100). L'ampoule est munie à la partie supérieure d'un

robinet pointeau R et communique à la base avec un tube gradué, également muni d'un robinet. En tour-

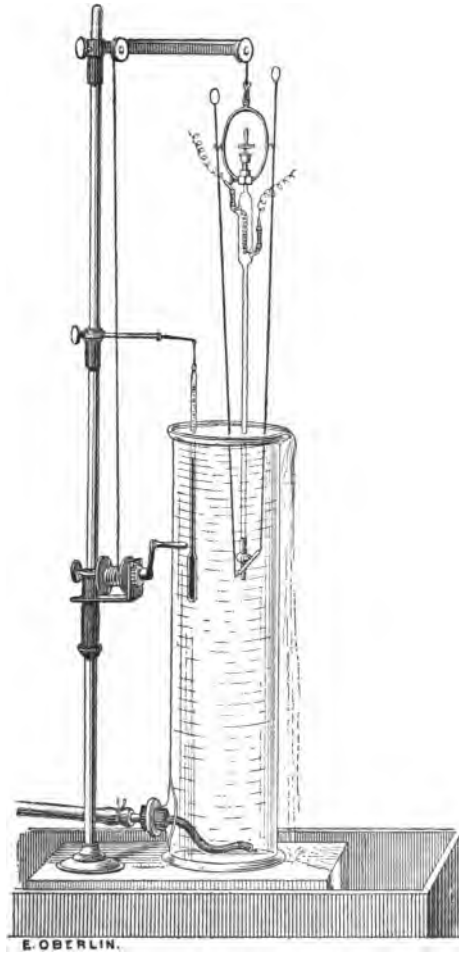


Fig. 99. — Grisoumètre de M. Gréhant.

nant une manivelle, on peut immerger l'appareil dans un vase où l'on fait passer un courant d'eau pour le maintenir à une température constante.

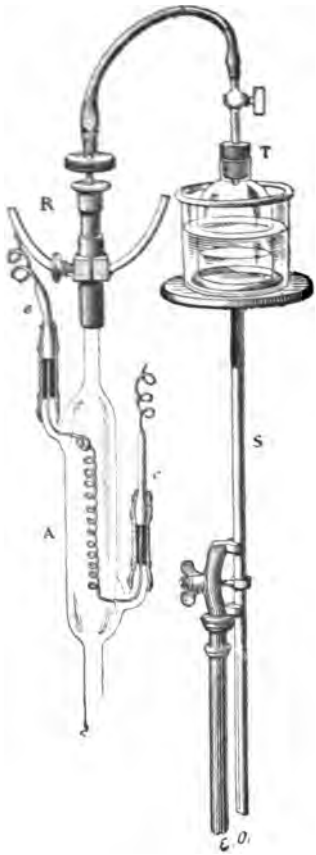


Fig. 100. — Grisoumètre de M. Gréhant. (Détail de l'ampoule).

Si l'on introduit dans l'ampoule un mélange d'un gaz combustible, par exemple d'oxyde de carbone et d'oxygène en excès, et qu'on porte la spirale de platine au rouge par le courant de la pile, le mélange brûle peu à peu.

$$\underset{\text{2 vol.}}{CO} + \underset{\text{1 vol.}}{O} = \underset{\text{2 vol.}}{CO^2}$$

Avec l'oxyde de carbone, il se forme du gaz carbonique, et il y a contraction d'un tiers du volume total ou de la moitié du volume d'oxyde de carbone; pour observer cette contraction, on interrompt le courant, on plonge l'appareil dans l'eau et on ouvre le robinet inférieur, pour laisser se rétablir la température et la pression initiales. Si l'on fait ensuite absorber l'acide carbonique par la potasse,

il se produit une nouvelle réduction égale au volume primitif d'oxyde de carbone.

Les gaz à analyser sont contenus dans la cloche T, qu'on enfonce dans l'eau pour la faire passer dans l'ampoule du grisoumètre.

Avant d'introduire un mélange gazeux dans le grisoumètre, il faut l'agiter avec de la potasse, pour absorber le gaz carbonique qu'il peut contenir.

Dans l'appareil employé, chaque centimètre cube d'oxyde de carbone donnait une réduction de 7,6 divisions.

On fait respirer le mélange à l'animal au moyen d'une muselière en caoutchouc et de soupapes métalliques permettant l'inspiration et l'expiration.

Degré de toxicité. — Dans un mélange à 20 0/0 d'acétylène, un chien ne paraît ressentir aucun effet; il reste calme et les mouvements respiratoires offrent beaucoup d'amplitude, bien que 100 cc. de son sang artériel renferment, au bout de 35 minutes, 10 cc. de ce gaz.

Au contraire, dans un mélange à 40 0/0, l'animal s'agite aussitôt; au bout de 7 minutes, l'agitation devient très vive et le gaz expiré détone fortement au contact d'une bougie allumée. 51 minutes après le début de l'expérience, le chien étend simultanément les quatre pattes: les mouvements respiratoires s'arrêtent et la mort se produit.

Un pigeon ne résiste pas mieux au même mélange. Après 33 minutes, il présente de la somnolence, avec

occlusion fréquente des paupières; après 1 heure 5 minutes, il est couché, endormi, les paupières fermées; au bout de 1 heure 21 minutes, la mort se produit par arrêt de la respiration.

Enfin, dans un mélange de 79 volumes d'acétylène et 21 volumes d'oxygène, c'est-à-dire de l'air dont tout l'azote a été remplacé par de l'acétylène, un chien présenta immédiatement une agitation continuelle, avec des mouvements respiratoires très amples; au bout de 11 minutes, il éprouvait des convulsions générales et mourait après 27 minutes. Un cobaye, placé dans le même mélange, tomba sur le flanc au bout de 6 minutes, présentant des convulsions; retiré de la cloche au bout de 39 minutes, il se releva et parut rétabli, mais il mourut la nuit suivante.

L'acétylène est donc certainement toxique à haute dose, 40 0/0 environ. Il est à peu près aussi dangereux que le gaz carbonique, qui, d'après Paul Bert, tue les animaux à la dose de 40 à 45 0/0.

Conclusions pratiques. — Il faut remarquer d'ailleurs que, dans la pratique, on n'a guère à craindre de respirer un mélange contenant 40 0/0 d'acétylène. En effet, pour produire un semblable mélange dans une chambre de 3 mètres de côté, il faudrait y introduire 10,8 mètres cubes de ce gaz, ce qui représente le débit d'un bec ordinaire pendant 540 heures. Pratiquement, on n'a donc pas à redouter les empoisonnements par l'acétylène : le danger est beaucoup moindre qu'avec le gaz de houille.

Comparaison de l'acétylène et du gaz d'éclairage. — Pour comparer la toxicité de l'acétylène à celle du gaz d'éclairage, M. Gréhant fit composer un mélange de 115 litres d'air, 5,3 d'oxygène et 20 de gaz d'éclairage, mélange qui, d'après la composition connue de ce dernier gaz, devait renfermer 1 0/0 d'oxyde de carbone et 20,8 d'oxygène. Un chien, astreint à respirer ce mélange, présentait, au bout de 3 minutes, une vive agitation; après 10 minutes, le sang de l'artère carotide contenait 27 cc. d'oxyde de carbone pour 100 cc. de sang; l'animal était très malade et serait mort si l'expérience avait duré quelques minutes de plus. L'acétylène est donc beaucoup moins toxique que le gaz d'éclairage.

Séparation de l'acétylène et de l'oxyde de carbone. — Une expérience analogue a montré que l'acétylène est dissous dans le plasma du sang, tandis que l'oxyde de carbone se combine à l'hémoglobine. Pour cela, on a composé dans un gazomètre un mélange d'acétylène, d'air et d'oxygène, contenant en tout 28,8 0/0 de ce dernier gaz et 20 0/0 d'acétylène; on ajouta ensuite $\frac{1}{500}$ d'oxyde de carbone pur.

On fit respirer ce mélange à un chien, qui commença à s'agiter et à se plaindre après 14 minutes; au bout de 30 minutes, 70 litres du mélange ont traversé les poumons; on fait une prise de 20 cc. de sang artériel, qui est rouge vif, et l'on injecte ce liquide dans un ballon vide, maintenu à 37° (fig. 98). A l'aide de la

pompe à mercure, on extrait 16,4 cc. de gaz, qui, agités avec la potasse, se réduisent à 6,4 cc. : il y avait donc 10 cc. d'acide carbonique. Les 6,4 cc. de gaz restant sont introduits dans le grisoumètre, et leur analyse montre qu'il y avait 8,6 cc. d'acétylène pour 100 cc. de sang.

Dans le récipient qui renferme le sang, on introduit alors 40 cc. d'acide acétique à 8° et l'on fait bouillir le bain-marie. On extrait alors 3,3 cc. de gaz, qui, agités avec la potasse, se réduisent à 3 cc. Ce résidu, additionné d'air, a fourni dans le grisoumètre une réduction de 13,7 divisions, due à la présence de l'oxyde de carbone et correspondant à 1,8 cc. de ce gaz. Il y avait donc 9 cc. d'oxyde de carbone pour 100 cc. de sang.

La méthode de M. Gréhant permet donc, dans un empoisonnement mixte par l'acétylène et l'oxyde de carbone, de séparer le premier gaz, qui est simplement dissous dans le plasma du sang, du second, qui est combiné avec l'hémoglobine.

Dans l'expérience précédente, quoique les proportions des deux gaz fussent très différentes (20 0/0 et 0,2 0/0), et dans le rapport de 100 à 1, les volumes introduits dans le sang étaient pourtant à peu près égaux.

Elimination de l'acétylène après un empoisonnement partiel. — M. Gréhant a constaté en outre que l'acétylène, introduit dans le sang à la suite d'un empoisonnement partiel, s'élimine assez rapidement.

Un chien ayant respiré, en un quart d'heure, 86 litres du mélange à 40 0/0 d'acétylène, on a fait, dans l'artère carotide, quatre prises de sang, de dix minutes en dix minutes; de chaque échantillon, ayant un volume de 10 cc., on a extrait les gaz par la pompe à mercure, et on a fait passer ces gaz dans le grisoumètre. On a obtenu les résultats suivants :

	I	II	III	IV
Réduction au grisoumètre. .	$47^{div}6$	3,5	1,4	0,9
Acétylène dans 100^{cc} de sang.	$20^{cc}8$	1,5	0,6	0,4

On voit que, au bout d'une demi-heure, l'acétylène est presque complètement éliminé, car il n'en reste que $\frac{1}{52}$ du volume primitif.

Dans le cas d'un empoisonnement partiel par l'acétylène, le meilleur traitement consiste à respirer de l'air pur, complètement privé de ce gaz : dans ces conditions, l'acétylène s'élimine rapidement.

Toxicité des produits de combustion de l'acétylène. — Deux cas peuvent se présenter. Lorsque la combustion de l'acétylène est complète, nous avons vu qu'il se produit uniquement de l'eau et du gaz carbonique, et, comme la proportion de ce dernier est plus faible qu'avec le gaz d'éclairage, puisque, l'acétylène ayant un pouvoir éclairant plus élevé, on n'en brûle qu'un volume plus faible, les produits de la combustion sont évidemment moins toxiques.

Mais la combustion peut être incomplète : M. Le Chatelier a constaté qu'il se produit alors, outre la va-

peur d'eau et l'anhydride carbonique, de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène.

Pour vérifier l'action toxique de ces produits, M. Gréhant a fait brûler par la partie inférieure un bec Bunsen alimenté à l'acétylène. Un cône de laiton, placé au-dessus du bec, suivi d'un large réfrigérant métallique à eau, de soupapes métalliques et d'une muselière de caoutchouc, permettaient de faire respirer à un chien les produits de la combustion, mélangés avec l'air entraîné. Avant l'expérience, le sang normal du chien donnait au grisoumètre une réduction de 1,6 division. Au bout d'une demi-heure, l'animal, détaché, est très malade; il a la tête renversée en arrière et la respiration presque arrêtée. L'analyse des gaz du sang donne alors une réduction brute de 76,7 divisions, correspondant à $\frac{76,7 - 1,6}{7,6}$ ou 9,88 cc. d'oxyde de carbone, soit 23,2 cc. pour 100 cc. de sang. C'est une proportion considérable, qui explique bien le danger de mort dans lequel se trouvait l'animal.

La même expérience a été répétée avec le gaz d'éclairage, en faisant brûler le même bec de Bunsen par la partie inférieure et en ayant soin de donner au gaz un faible débit analogue à celui de l'acétylène. Le sang normal du chien donnait, pour 42,5 cc., une réduction de 1,8 division. L'animal s'agite vivement au bout de cinq minutes et succombe après un quart d'heure. L'analyse du sang donne alors une réduction de 77,1 divisions, ce qui correspond à $\frac{77,1 - 1,8}{7,6}$ ou 9,90 cc.

d'oxyde de carbone, soit 24 cc. de ce gaz pour 100 cc. de sang. Le sang est donc presque entièrement oxycarboné.

On voit que les produits de combustion incomplète sont également dangereux, soit avec l'oxyde de carbone, soit avec le gaz d'éclairage. Il faut donc se garder également, dans les deux cas, des appareils qui réalisent ce mode de combustion défectueux. Ce danger n'est pas à craindre avec les appareils d'éclairage; mais il peut se présenter avec ceux qui sont destinés au chauffage.

Action de la flamme de l'acétylène sur l'organe de la vue. — On sait que la flamme de l'acétylène présente un grand éclat; il en résulte que, si l'on fixe seulement pendant une ou deux minutes un bec papillon et qu'on ferme ensuite les yeux, il se produit une image consécutive très brillante et dont la durée est vraiment inquiétante. M. Gréhant pense donc qu'il faudra se préoccuper, pour l'éclairage des bureaux ou des écoles, de l'action que peut exercer sur l'œil la flamme de l'acétylène.

Rôle antiseptique de l'acétylène. — Nous avons dit que les chimistes qui ont eu l'occasion de manier l'acétylène n'ont pas été incommodés.

M. Trouvé prétend même que l'acétylène procure un soulagement notable aux personnes atteintes de rhumes, enrouement, irritation des voies respiratoires, etc. On sait d'autre part que le gaz d'éclairage a été préconisé pour le traitement de la coqueluche : il y aura là,

peut-être, une intéressante application médicale pour l'acétylène.

On dit également que le carbure de calcium pourrait être utilement employé contre le phylloxera, à cause de l'acétylène qu'il dégage sous l'influence de l'humidité du sol.

CHAPITRE XXX.

EXPLOSIBILITÉ DE L'ACÉTYLÈNE.

Explosion des mélanges d'acétylène et d'air. — Expériences de M. Gréhant. — Précautions nécessaires. — Propriétés explosibles de l'acétylène seul. — Expériences de M. Berthelot. — Expériences de M. Maquenne. — Expériences de MM. Berthelot et Vieille : influence de la pression ; décomposition de l'acétylène liquide ; effets du choc ; détonation par une cartouche au fulminate de mercure. — Pressions limites. — Aptitude à la détonation de l'acétylène dissous. — Aptitude à l'inflammation de l'atmosphère saturée et de la dissolution.

Explosion des mélanges d'acétylène et d'air. — Un dernier défaut qu'on reproche à l'acétylène, c'est son explosibilité. Remarquons d'abord que l'acétylène forme avec l'air ou l'oxygène des mélanges détonants, susceptibles de faire explosion au contact d'une flamme ou d'une étincelle électrique. C'est du reste une propriété qu'il partage avec le gaz de houille et tous les gaz combustibles. Cependant les mélanges fournis par l'acétylène sont plus dangereux que ceux qui renferment du gaz d'éclairage ; c'est ce qui a été constaté par M. Gréhant.

Expériences de M. Gréhant. — Nous avons indiqué plus haut, dans le chapitre consacré à la combustion de l'acétylène, les expériences de M. Le

Chatelier relatives aux limites d'inflammabilité des mélanges d'acétylène et d'air. M. Gréhant a fait des expériences analogues et comparé ces mélanges avec ceux que donne le gaz d'éclairage. Les expériences étaient faites sur l'eau, dans des tubes à essais de 50 à 90 cc. Les volumes étaient mesurés dans un appareil servant au dosage de l'azote en volume. Les mélanges étaient faits dans une cloche graduée où l'on introduisait l'air d'abord, puis l'acétylène, et on agitait au contact de l'eau. A cause de l'absorption d'un peu d'acétylène par le liquide, on ajoutait à la fin une bulle de ce gaz pour rétablir le volume primitif du mélange. L'inflammation était produite par un fil de platine porté au rouge par une batterie d'accumulateurs. Le tube, fermé par un bouchon, était maintenu par un support dans un bocal plein d'eau recouvert d'une planche et d'un poids.

Pour l'acétylène, les tubes avaient un diamètre de 1,4 centimètre et une capacité de 50 cc.; pour le gaz d'éclairage, on employait des tubes de 90 cc., ayant 2,4 centimètres de diamètre.

Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants :

I. — MÉLANGES D'ACÉTYLÈNE ET D'AIR.

VOLUMES		OBSERVATIONS
ACÉTYLÈNE	AIR	
1	1	Brûle, flamme fuligineuse.
1	2	Id.
1	3	Détonation, dépôt de charbon.
1	4	Détonation plus forte, sans dépôt.
1	5	Forte détonation.
1	6	Id.
1	7	Très forte détonation.
1	8	Id.
1	9	Tube brisé.
1	10	Forte détonation.
1	11	Id.
1	12	Id.
1	13	Détonation un peu moins forte.
1	14	Id.
1	19	Faible détonation.
1	20	Inflammation sans détonation.
1	25	Id.

II. — MÉLANGES DE GAZ D'ÉCLAIRAGE ET D'AIR.

VOLUMES		OBSERVATIONS
GAZ	AIR	
1	1	Ne brûle pas.
1	2	Id.
1	3	Détone.
1	4	Détone un peu plus.
1	5	Forte détonation.
1	6	Id.
1	7	Détonation un peu moins forte.
1	8	Id.
1	9	Détonation moindre.
1	10	Id.
1	11	Faible détonation.
1	12	Plus d'inflammation.

[illegible] mélange d'acétylène et d'air déto[illegible] que les mélanges de [illegible] à détoner [illegible] d'air et [illegible] 11 volumes d'air. [illegible] 5 à 6 volumes [illegible] commence aussi [illegible] seulement au delà de 10 [illegible] pour 9 volumes et produit [illegible] dans ce cas [illegible] 26 centimètres [illegible] et 0,5 milli[illegible] 8,8 cc. d'acétylène [illegible] volumes dont le rapport est $\frac{1}{9}$, et [illegible] de l'excitateur à [illegible] l'eau recouvert d'une [illegible] kilogrammes. Le passage [illegible] explosion des plus vio[illegible] soulevé la planche et le [illegible]

Précautions nécessaires. — On doit donc, quand [illegible] éviter avec le plus grand [illegible] qu'il forme avec l'air et [illegible] accidents désastreux.

[illegible] qui est le plus souvent pré[illegible] ces mélanges détonants ne peuvent se produire, chez le consommateur, que dans les [illegible] par l'effet d'une fuite ou d'un

robinet demeuré ouvert. Pour l'acétylène, le danger est un peu plus grand : comme on est en général obligé, au moins jusqu'ici, dè fabriquer ce gaz à domicile, un mélange détonant peut se former, soit par la cause que je viens d'indiquer, soit encore par l'introduction d'une certaine quantité d'air dans les appareils producteurs ou dans la canalisation.

Une première précaution à prendre, c'est d'installer les appareils générateurs à l'air libre, autant que possible, ou tout au moins dans un local bien ventilé ; en outre, on devra avoir soin de bien purger d'air ces appareils, ainsi que les conduites, avant de les remplir d'acétylène.

Il faut remarquer d'ailleurs qu'une très petite quantité d'air, laissée dans un appareil, ne suffit pas pour amener un accident ; M. Le Chatelier a montré en effet qu'un mélange d'air et d'acétylène ne détone pas s'il contient moins de $\frac{1}{3}$ du premier gaz.

On doit éviter aussi de faire passer un courant d'air dans un gazomètre pour chasser un peu d'acétylène qui s'y trouve encore : on produit ainsi un mélange auquel peut s'ajouter une partie du gaz dissous dans l'eau de la cuve. Nous savons, en effet, que l'eau, sous la pression atmosphérique, dissout à peu près son volume d'acétylène ; comme pour tous les gaz, la solubilité augmente avec la pression. Il est donc préférable, par raison d'économie et aussi de prudence, d'employer toujours la même eau, surtout dans les appareils pro-

[illegible]

[illegible] produire aussi bien avec [illegible]

[illegible] appareils à acétylène [illegible] reposant sur [illegible] la prise de gaz. Un [illegible] mit le feu [illegible] l'acétylène qui res- [illegible] et la cloche fut [illegible]

[illegible] qui s'est produite à Fécamp, un [illegible] sur un gazomètre in- [illegible] une autre eut lieu à Châteauroux [illegible] blessa deux personnes. [illegible] a causé la destruc- [illegible] inventeur fut blessé [illegible] faire dans son [illegible]

[illegible] ne peuvent [illegible] dans les appareils: [illegible] pression supérieure

à celle de l'atmosphère, s'échappe au dehors, et l'air ne rentre pas.

Propriétés explosives de l'acétylène seul. — Il résulte de ce qui précède que l'acétylène, mélangé avec l'air, forme des mélanges détonants plus dangereux que ceux produits par le gaz d'éclairage ; mais quelques précautions très simples, identiques à celles que nécessiterait ce dernier gaz, suffisent à écarter le péril.

D'un autre côté, on doit se demander en outre si, en vertu de sa propriété endothermique et du grand dégagement de chaleur qui accompagne sa décomposition, l'acétylène seul, non mélangé d'air, n'est pas capable de provoquer des explosions, lorsqu'un point de sa masse se trouve porté accidentellement, par une cause quelconque, à une température élevée. Ce gaz, en effet, en se décomposant en ses éléments, dégage une quantité de chaleur à peu près égale à celle que produit la combustion d'un égal volume d'hydrogène et sa transformation en vapeur d'eau.

Grâce à cette propriété, M. Berthelot a pu, comme nous l'avons indiqué plus haut, faire détoner l'acétylène, à volume constant, sous l'action d'une amorce au fulminate de mercure. Avant les travaux de M. Berthelot, on n'était pas arrivé à produire l'explosion de l'acétylène. C'est que les différents composés endothermiques exigent, pour leur destruction, une diversité de moyens qui est due sans doute à la nécessité d'une sorte de mise en train et d'un travail préliminaire qui

ne paraît pas résider dans un simple échauffement lent et progressif. M. Berthelot a montré que la décomposition est due à la formation d'une véritable onde explosive, tout à fait distincte des ondes sonores proprement dites, parce qu'elle résulte d'un certain cycle d'actions mécaniques, calorifiques et chimiques, qui se reproduisent de proche en proche en se transformant les unes dans les autres.

En principe, il semble suffisant qu'un corps soit endothermique pour que sa décomposition soit illimitée; mais, dans la pratique, plusieurs causes s'opposent à cet effet. « La condition d'un refroidissement nul étant impossible à remplir, dit M. Berthelot, les réactions exothermiques et non limitées ne deviendront pas explosives toutes les fois que la chaleur dégagée dans un temps donné sera insuffisante pour compenser les effets du refroidissement. Ces derniers effets, d'ailleurs, dépendent de la masse des corps mis en expérience, de la masse et de la nature des corps avec lesquels ils sont mis en contact, de la quantité de chaleur fournie par la source, de l'excès de la température de la source sur la température ambiante, etc.

« L'acétylène, le cyanogène, le bioxyde d'azote ne détonent ni par simple échauffement, ni par le contact d'une flamme, ni sous l'influence de l'étincelle ou même de l'arc électrique... Ce n'est pas que ces composés soient très stables d'une façon absolue : ils se décomposent, en effet, souvent, et même dès le rouge sombre, avec formation de polymères..., mais ils ne font pas

explosion, malgré le très grand dégagement de chaleur qui accompagne ces métamorphoses, probablement en raison de la lenteur avec laquelle elles s'accomplissent. Ils ne détonent pas davantage, ce qui est plus singulier, sous l'influence des étincelles électriques, malgré la température excessive et subite développée par celles-ci. »

Ainsi l'acétylène ne détone ni par la chaleur, ni par le contact d'une flamme, ni sous l'action d'une série d'étincelles électriques, ni même sous l'influence de l'arc électrique. Sa détonation n'est obtenue qu'avec une capsule au fulminate de mercure, ce qui s'explique par l'énorme pression que développe cette substance en détonant dans son propre volume, pression qui surpasse 24 000 kilogrammes par centimètre carré.

Expériences de M. Berthelot. — M. Berthelot s'est servi, pour cette expérience, d'une éprouvette de verre à parois très épaisses, contenant à peu près 20 à 25 cc. de gaz. Cette éprouvette ayant été remplie sur le mercure, on la ferme avec un bouchon d'acier à baïonnette, au centre duquel on visse un cylindre de même métal, portant une petite cartouche chargée d'environ 0,1 gramme de fulminate et traversée par les fils qui se rendent à cette amorce.

L'appareil ainsi disposé, on fait passer un courant électrique, qui fait éclater la cartouche : il se produit une violente explosion accompagnée d'une grande flamme. Après refroidissement, on trouve l'éprouvette remplie d'un charbon noir et très divisé, et d'hydrogène

libre, dont le volume est égal à celui du gaz primitif. L'acétylène est donc décomposé en ses éléments, suivant la formule

$$C^2H^2 = 2C + 2H$$

Expériences de M. Maquenne. — Depuis cette époque, M. Maquenne a également étudié la propagation de l'onde explosive dans l'acétylène, à la pression atmosphérique, et cherché si la décomposition totale, observée par M. Berthelot dans une éprouvette close, à volume constant, se propagerait également dans un tube de grande longueur.

En se servant d'un tube de plomb de 3 centimètres de diamètre intérieur, à parois épaisses, l'onde déterminée par l'explosion d'une cartouche contenant 1 gramme de fulminate de mercure ne s'est pas propagée à une distance sensible. Avec des charges de 1 gramme et 1.5 gramme de fulminate, la décomposition s'est propagée à plus de 5 mètres, sans briser le tube métallique.

« Il semble donc que l'onde explosive produite dans ces conditions s'arrête en chemin dans une conduite de 3 centimètres et qu'elle soit incapable de progresser à l'intérieur d'un tube cinq fois plus étroit ; il n'en est pas moins vrai qu'elle est susceptible de propagation en dehors de la zone d'activité du détonateur, et que, sur son parcours, elle peut donner lieu à des effets destructeurs comparables à ceux des autres explosifs gazeux, notamment du mélange $H^2 + O$. »

Expériences de MM. Berthelot et Vieille. — L'im-

portance industrielle acquise tout récemment par l'acétylène a engagé MM. Berthelot et Vieille à étudier de nouveau les propriétés explosives de l'acétylène, à rechercher dans quelles conditions précises elles peuvent se manifester, à indiquer les précautions exigées par son emploi dans la pratique. Nous allons résumer ce travail, dont les conclusions présentent une importance considérable.

Influence de la pression. — Sous la pression atmosphérique, et *à pression constante,* l'acétylène ne propage pas, à une distance notable, la décomposition provoquée en un de ses points. Ni l'étincelle, ni la présence d'un point en ignition, ni même l'amorce au fulminate, n'exercent d'action au delà du *voisinage de la région soumise directement à l'échauffement ou à la compression.* M. Maquenne et M. Dixon avaient déjà publié, sur ce point, des observations intéressantes.

Il n'en est plus ainsi dès que la pression s'élève un peu et dépasse 2 atmosphères. L'acétylène présente alors les propriétés des mélanges tonnants : la décomposition provoquée en un point par l'incandescence d'un fil métallique se propage dans toute la masse sans affaiblissement appréciable. Ce phénomène a été observé sous des longueurs de 4 mètres dans des tubes de 20 millimètres de diamètre.

Le tableau suivant montre les pressions et les durées de réaction, observées lors de l'inflammation de l'acétylène au moyen d'un fil métallique rougi au sein de la masse gazeuse, sous diverses pressions initiales :

			»	
			»	
			»	
			»	

« La décomposition s'effectue donc suivant la formule théorique :

$$C^2H^2 = C^2 + H^2$$

« Le tableau ci-dessus montre que, sous des pressions initiales de 21 kilogrammes environ, tensions égales à la moitié de la tension de vapeur saturée de l'acétylène liquide, à la température ambiante de 20°, l'explosion décuple la pression initiale. »

Les auteurs ont calculé que la température de la décomposition à volume constant doit être d'environ 2 750° et la pression développée doit être égale à 11 fois la pression initiale ; c'est à peu près ce qu'on a observé pour la pression de 21 kilogrammes, qui est sans doute assez forte pour rendre négligeable le refroidissement par les parois. Pour les pressions plus faibles, cette cause d'erreur abaisse la température et par suite modifie la durée de la réaction, qui varie assez vite avec celle-ci.

« Ainsi, la durée de la décomposition de l'acétylène décroît rapidement, à mesure que la pression augmente, et cela non seulement à cause de l'influence moindre du refroidissement, mais aussi par l'effet de la condensation. Observons, d'ailleurs, que le rapport entre la pression initiale et la pression développée est calculé ici d'après les lois des gaz parfaits. Or, ce rapport doit s'élever de plus en plus au delà de la limite précédente, quand les pressions initiales deviennent plus considérables, en raison de la compressibilité croissante du gaz, celle-ci faisant croître la densité

de chargement plus vite que la pression, à mesure que le gaz s'approche de son point de liquéfaction.

« En même temps que la pression croît, la vitesse de la réaction, disons-nous, augmente, celle-ci s'accélérant avec la condensation gazeuse, et l'on tend de plus en plus à se rapprocher de la limite relative à l'état liquide. Ce sont là des relations générales, établies par les recherches de M. Berthelot, et notamment par ses expériences sur la formation des éthers. L'acétylène liquéfié en fournit de nouvelles vérifications. »

Décomposition de l'acétylène liquide. — La décomposition produite par un fil métallique incandescent se propage également dans l'acétylène liquide.

« Dans une bombe en acier, de 48,96 cc. de capacité, chargée avec 18 grammes d'acétylène liquide (poids évalué d'après le poids de charbon recueilli), on a obtenu la pression considérable de 5 564 kilogrammes par centimètre carré.

« Cette expérience conduit à attribuer à l'acétylène une force explosive de 9 500, c'est-à-dire voisine de celle du coton-poudre. La bombe renferme un bloc de charbon, aggloméré par la pression, à cassures brillantes et conchoïdales. Ce charbon ne renferme que des traces de graphite, d'après l'examen qu'a bien voulu en faire M. Moissan. »

Cette décomposition est relativement lente. Avec une densité de chargement voisine de 0,15, la pression maxima, 1 500 kilogrammes, a été obtenue en 9,41 mil-

lièmes de seconde : le manomètre a montré qu'elle s'était accomplie en deux phases, l'une rapide, l'autre plus lente, correspondant probablement, la première à la décomposition de la partie gazeuse, la seconde à celle du liquide. Il en a été de même dans plusieurs autres expériences.

« Il résulte de ce qui précède que, toutes les fois qu'une masse d'acétylène gazeuse ou liquide, *sous pression,* et surtout à volume constant, sera soumise à une action susceptible d'entraîner la décomposition de l'un de ses points et, par suite, une élévation locale de température correspondante, la réaction sera susceptible de se propager dans la masse. »

Effets du choc. — L'acétylène supporte mieux le choc que l'élévation de température. C'est ce qu'ont reconnu les mêmes savants en opérant sur des bouteilles en acier d'environ 1 litre, chargées, les unes d'acétylène gazeux comprimé à 10 atmosphères, les autres d'acétylène liquide, à la densité de chargement de 0,3 (300 grammes par litre).

Ainsi un de ces récipients, rempli de gaz comprimé à 10 atmosphères, a supporté sans explosion le choc d'une balle animée d'une vitesse suffisante pour traverser la première paroi et déprimer la seconde.

La chute réitérée de ces récipients, tombant d'une hauteur de 6 mètres sur une enclume en acier de grande masse, n'a donné lieu à aucune explosion. L'écrasement des mêmes récipients par un mouton de 280 kilogrammes, tombant de la même hauteur, n'a

produit ni explosion ni inflammation, avec l'acétylène pur.

Pour l'acétylène liquide, le choc a été suivi, à un faible intervalle, d'une explosion que les auteurs attribuent à la décomposition de l'acétylène pur, mais à l'inflammation d'un mélange de ce gaz et d'air, formé à la suite de la rupture : cette inflammation est déterminée sans doute par les étincelles que produit la friction des pièces métalliques projetées. La bouteille est en effet simplement rompue, sans fragmentation, et l'on n'observe pas de dépôt charbonneux, ce qui

Fig. . — Bouteille d'acétylène liquide rompue par un mouton de 280 kg.[1]

prouve que l'acétylène a brûlé au contact de l'air [illegible].

Des phénomènes de ce genre ont été souvent observés avec d'autres gaz combustibles, par exemple avec des récipients remplis d'hydrogène sous une pression de plusieurs centaines d'atmosphères.

Détonation par une cartouche au fulminate de mercure. — L'acétylène est au contraire très sensible

1. Figure empruntée aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.

à l'influence d'une cartouche de fulminate : une bouteille chargée d'acétylène liquide a détoné avec violence sous l'action d'une amorce renfermant 1,5 gr. de cette substance et placée au milieu du liquide : la fragmentation présentait les caractères observés dans l'emploi des explosifs proprement dits, et les débris étaient recouverts de charbon, dû à la décomposition de l'acétylène en ses éléments (fig. 102).

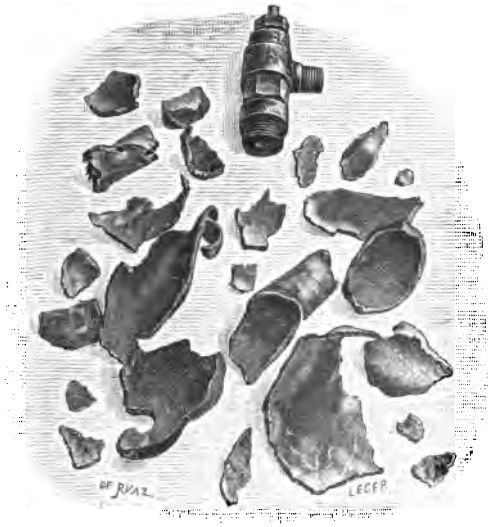


Fig. 102. — Bouteille rompue par la détonation d'une cartouche au fulminate[1].

Pressions limites. — Dans un travail plus récent, MM. Berthelot et Vieille ont cherché en outre à préciser les valeurs limites des pressions à partir des-

1. Figure empruntée aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*

quelles les propriétés explosives de l'acétylène peuvent prendre une importance dangereuse, lorsqu'on excite la décomposition, soit par un fil métallique incandescent, soit par une amorce au fulminate de mercure.

Le premier mode correspond, en pratique, à l'échauffement intense et localisé qui peut se produire, soit dans l'attaque d'une masse de carbure en excès par de petites quantités d'eau, soit par des frictions énergiques entre des pièces métalliques en contact avec le gaz (serrage d'écrou ou de pointeaux de fermeture).

Le deuxième mode d'excitation peut se trouver réalisé, d'après les auteurs, par la déflagration de petites quantités d'acétylures très explosifs.

Pour mettre en évidence l'influence du refroidissement, on s'est servi, tantôt de vases ayant un diamètre sensiblement égal à la hauteur, tantôt de tubes métalliques.

Il n'a pas été possible « pour un mode d'excitation déterminé, de définir une pression critique absolument fixe, au-dessous de laquelle la propagation serait impossible; tandis qu'immédiatement au-dessus la propagation serait certaine.

« Le passage se fait progressivement, suivant une échelle de pressions, auxquelles correspondent des probabilités croissantes d'explosion.

« Ce fait d'ailleurs n'est pas particulier à l'acétylène. Pour tous les explosifs, les phénomènes de propagation, par choc ou par influence, présentent le même caractère, et les conditions qui assurent l'explo-

sion certaine sont toujours largement séparées de celles qui assurent l'insensibilité certaine : dans l'intervalle, il existe des zones dangereuses, où l'on ne peut définir autre chose que la probabilité de l'explosion.

« Toutefois, la loi rapide de décroissance de ces probabilités conduit à regarder comme sans danger probable, dans le cas qui nous occupe, une surpression de 52 centimètres de mercure (7 mètres d'eau), lors de l'inflammation provoquée par un point en ignition, et la surpression de 17 centimètres de mercure (2,30 mètres d'eau), pour l'inflammation provoquée par l'amorce au fulminate. L'un des modes d'excitation est donc ici trois fois plus énergique que l'autre.

« Les essais effectués dans le flacon de 25 litres n'ont pas mis en évidence une influence appréciable de la capacité du récipient.

« L'inflammation donne lieu, sous toutes les pressions, à la production de volumineux flocons de charbon, d'une extrême ténuité, qui tapissent les parois du récipient et le remplissent partiellement. En même temps, le récipient métallique devient brûlant. Lorsque l'inflammation ne se propage pas, on n'observe que des fumées, qui se déposent sous forme d'une légère buée transparente, visible seulement dans les récipients en verre. »

Aptitude à la détonation de l'acétylène dissous. — MM. Berthelot et Vieille ont étudié en même temps les propriétés explosibles de l'acétylène dissous dans l'acétone.

Une bouteille métallique de 700 centimètres cubes, renfermant 320 grammes d'acétone, a été chargée de 132 grammes d'acétylène, soit 41,25 pour 100 du poids du dissolvant, à 15° et sous une pression initiale d'environ 13 kilogrammes, puis on y a fait détoner une amorce au fulminate renforcée, de 1,5 gramme. Bien que le tube amorce ait été pulvérisé et la bouteille fêlée par la violence du choc transmis par le liquide, l'explosion n'a produit qu'un bruit sec, accompagné d'une fuite de gaz, sans explosion ni inflammation. « Mais la stabilité d'un semblable liquide n'est assurée que jusqu'à une certaine proportion relative du composé explosif. En effet, nous montrerons plus loin qu'une dissolution renfermant un poids d'acétylène égal à 64 pour 100 du poids de l'acétone, sous une pression initiale de 20 kilogrammes, à 13°, fait explosion par simple inflammation. »

Aptitude à l'inflammation de l'atmosphère saturée et de la dissolution. — Une éprouvette d'acier de 50 centimètres cubes, munie de manomètres enregistreurs, a été chargée avec des poids d'acétone remplissant d'abord 56 pour 100, puis 33 pour 100 du volume total, puis on a saturé le liquide d'acétylène, à la température ordinaire, sous des pressions de 10 et de 20 kilogrammes. L'inflammation était provoquée par un fil fin de platine ou de fer, placé tantôt dans l'acétone, tantôt dans l'atmosphère gazeuse.

1° Lorsque la pression initiale ne dépasse pas 10 kilogrammes et que le fil est disposé dans le gaz, les

pressions observées sont les mêmes qu'avec l'acétylène pur. On peut donc conclure que le gaz dissous échappe à la décomposition et que celle-ci ne se propage pas au sein du liquide.

2° Si, dans les mêmes conditions de pression initiale, on provoque l'incandescence énergique du fil de platine au sein même du liquide, l'échauffement fait dégager une partie du gaz dissous, et l'on enregistre des pressions plus élevées, mais ne dépassant pas le double de celles qui se seraient produites dans le gaz, pris sous sa tension initiale. La décomposition paraît donc limitée au gaz dégagé.

Dans ces deux cas, l'acétylène dissous est donc presque entièrement soustrait à la combustion, et les pressions maxima sont environ dix fois plus faibles que si tout le gaz contenu dans l'éprouvette était décomposé.

3° Si la saturation a été accomplie sous une pression supérieure à 10 kilogrammes, la dissolution participe à la décomposition de l'atmosphère gazeuse et l'on retombe sur un fonctionnement explosif analogue à celui de l'acétylène liquide.

Des essais, effectués sur des bouteilles de 13,5 litres, semblables à celles dont on se sert pour l'acétylène liquide, ont montré que ces récipients, timbrés à 250 atmosphères, « peuvent supporter sans rupture, aux températures ambiantes de 10° à 15°, les pressions qui résulteraient d'une inflammation interne fortuite de l'atmosphère gazeuse surmontant des dissolutions

d'acétone, saturées d'acétylène sous des pressions intiales de 6 à 8 kilogrammes. Ce résultat s'explique, la pression développée n'ayant pas dépassé 155 kilogrammes dans les expériences précédentes. Mais cette sécurité relative cesserait si la pression initiale surpassait notablement 10 kilogrammes. En effet, avec une pression de 20 kilogrammes, l'inflammation provoquée au sein de l'atmosphère gazeuse a été susceptible de développer une pression de 568 kilogrammes, double de celle sous laquelle la bouteille actuelle a été essayée. Enfin, quand l'inflammation a été provoquée dans le liquide même, la pression s'est élevée à 5 100 kilogrammes. Il est évident que, dans ces conditions, aucun récipient industriel n'est susceptible de résister.

« Ce n'est pas tout ; au point de vue du risque d'explosion, même avec une pression initiale de 6 à 8 kilogrammes, il importe de tenir compte de l'influence qu'exerce la température sur les tensions d'acétylène correspondant à une dissolution donnée. En effet, nous avons montré plus haut qu'un récipient ayant été rempli d'acétone saturé d'acétylène, sous une pression initiale de 6,74 kilogrammes, à la température de 14°, si ce récipient vient à être porté ensuite à 35°7, il subit une pression de 10,55 kilogrammes, et cette pression s'élève à 14 kilogrammes vers 50°, à 20,5 kilogrammes vers 74°5. Un récipient, inexplosible par inflammation à la température de 14°, peut donc le devenir, s'il vient à être porté à des températures su-

périeures à 35°, par un échauffement dû soit à la chaleur solaire, soit au voisinage de sources de chaleur industrielles. Cette possibilité doit être signalée d'autant plus que toute élévation de température accroît, et même fort vite, l'aptitude à la décomposition des matières explosives, en général : la limite de 10 kilogrammes, qui suffit à 15°, deviendrait certainement dangereuse à une température notablement plus élevée.

« Ces réserves étant formulées, il convient d'insister sur le fait établi par nos observations, à savoir que l'acétylène, dissous dans un liquide tel que l'acétone, devient moins dangereux, attendu que le carbure dissous cesse d'être explosif par inflammation interne, non seulement sous une pression de 2 kilogrammes, mais jusqu'à une pression initiale de 10 kilogrammes au moins, toujours vers la température de 15°.

« Bref, l'acétylène gazeux est susceptible de faire explosion par inflammation interne lorsqu'un récipient d'un litre contient 2,5 grammes, ou plus, de ce composé, tandis que l'acétylène dissous dans l'acétone, étant soumis à la même cause d'inflammation interne, n'est exposé à faire explosion, vers 15°, que si la pression initiale surpasse 10 atmosphères. Or, un tel récipient pourrait contenir 100 à 120 grammes d'acétylène, c'est-à-dire 50 fois plus, avant que le risque commençât, dans ces conditions.

« Observons toutefois que, même dans ces conditions favorables, la portion gazeuse qui surmonte la dissolution conserve ses propriétés explosives et la

faculté de développer par là des pressions voisines du décuple de la pression initiale. Pour y résister, il faudra employer des récipients suffisamment épais, de l'ordre de ceux où l'on a coutume de renfermer l'acide carbonique liquéfié.

« Enfin, si la pression initiale de dissolution atteint 20 kilogrammes (et sans doute déjà au-dessous de cette limite), on est exposé à réaliser, en cas d'inflammation interne, les conditions d'une explosion totale de l'acétylène, avec développement d'une pression de plusieurs milliers d'atmosphères et rupture des récipients métalliques. Ce risque existe également si le récipient, même rempli sous une pression initiale inférieure à 10 kilogrammes, à la température ordinaire, vient à subir l'influence d'une température notablement plus élevée. Il sera essentiel de tenir compte de ces diverses circonstances dans les applications industrielles des dissolutions d'acétylène, au sein de l'acétone ou d'autres liquides. »

CHAPITRE XXXI.

EXPLOSION DES RÉCIPIENTS A GAZ COMPRIMÉS OU LIQUÉFIÉS.

Causes d'explosion des récipients à gaz comprimés ou liquéfiés. — Expériences de M. Bach : influence du recuit ; influence des soudures ; influence de l'épaisseur des parois ; caractères des bouteilles bien recuites.

Causes d'explosion des récipients à gaz comprimés ou liquéfiés. — Déjà, depuis un certain nombre d'années, on vend et on transporte divers gaz comprimés ou liquéfiés dans des récipients en fer : oxygène, chlore, acide carbonique, etc. L'application de ce procédé d'emmagasinement à l'acétylène, gaz dont l'emploi est appelé, croyons-nous, à prendre une grande extension, donne un nouvel intérêt à l'étude de ces bonbonnes. En effet, on n'est pas seulement exposé, en employant l'acétylène sous une de ces deux formes, aux causes d'explosion provenant de la nature du gaz et indiquées dans le chapitre précédent ; on a encore à craindre celles qui peuvent résulter d'une mauvaise fabrication de la bouteille. Ces causes étant indépendantes de la nature du contenu, il nous a paru utile de résumer ici une étude récente sur des explosions de récipients à acide carbonique.

Expériences de M. Bach. — M. Bach a publié récemment une intéressante étude sur deux explosions de bouteilles d'acide carbonique, qui avaient eu lieu coup sur coup à la fabrique d'acide carbonique d'Eyach (Wurtemberg), et montré que cet accident était dû à ce que ces bouteilles, en acier fondu, n'avaient pas été recuites.

Ces récipients sont soumis aux règlements suivants :

1° Les bouteilles doivent être en fer, soudé ou fondu, ou en acier coulé.

2° Elles doivent être soumises à une épreuve officielle constatant qu'elles supportent sans fuites et sans déformations permanentes une pression de 250 atmosphères.

3° Cette épreuve doit être renouvelée tous les trois ans.

4° Une bouteille ne doit pas contenir plus de 1 kilogramme de liquide pour 1,34 litre de capacité.

5° Chaque bouteille doit porter une marque officielle indiquant son poids à vide avec tous ses accessoires, la charge en kilogrammes qu'elle peut contenir, dans les limites indiquées ci-dessus, et la date de la dernière épreuve.

On a pensé d'abord que les bouteilles brisées ne satisfaisaient pas à ces conditions, mais il a été impossible de le prouver.

Influence du recuit. — M. Bach préleva sur un premier fragment de l'une des bouteilles cinq éprouvettes, qui furent redressées lentement et à froid, à

la presse hydraulique, puis soumises directement, san avoir été recuites, à une épreuve de traction. Troi autres éprouvettes, tirées d'un autre fragment, furen recuites avant de subir la même épreuve.

On a obtenu les résultats suivants :

SECTION TRANSVERSALE			RÉSISTANCE A LA TRACTION (kgr. par cm²)	ALLONGEMENT sur 100 mm 0/0
LARGEUR	ÉPAISSEUR	SURFACE		
ÉPROUVETTES NON RECUITES				
1cm 81	0cm 42	0cq 76	8 526	4,8
1 81	0 42	0 76	8 487	—
1 78	0 42	0 75	8 333	4,6
1 80	0 43	0 77	8 364	5,0
1 81	0 43	0 78	8 436	4,8
	Moyenne.		8 429	4,8
ÉPROUVETTES RECUITES				
1 81	0 46	0 83	5 807	20,8
1 82	0 46	0 84	5 762	24,5
1 81	0 47	0 85	5 741	22,2
	Moyenne.		5 770	22,5

En comparant les moyennes, on voit que l'allonge ment, qui caractérise la ténacité du métal, est aug menté dans le rapport $\frac{22,5}{4,8}$ ou 4,69. D'un autre côté la résistance à la traction a diminué dans le rappor $\frac{5770}{8429}$ ou 0,69.

La bouteille soumise à l'épreuve n'avait donc pa

été recuite après sa fabrication. Le métal (acier Siemens-Martin) est de bonne qualité et possède une résistance convenable, mais il a perdu par la fabrication une grande partie de sa ténacité, qu'il aurait fallu lui rendre par le recuit ; on aurait évité ainsi facilement les dangers d'explosion dus au manque de ténacité.

Pour éviter cet inconvénient, il serait utile d'imposer aux bouteilles un minimum de ténacité ; il faudrait exiger un allongement d'au moins 12 pour 100.

Dans une autre explosion, qui se produisit quelque temps après à l'usine d'acide carbonique de Niedernau (Wurtemberg), M. Bach trouva encore pour le métal

Fig. 103. — Bouteille d'acide carbonique rompue par défaut de recuit [1].

recuit un allongement 4 fois plus grand que celui du métal pris sur la bouteille après l'explosion. La figure 103 montre l'aspect de ce récipient : au milieu se voit un étranglement dû à une frette de fil, destinée, d'après le constructeur, à augmenter la résistance à la rupture. Le métal avait été porté au rouge pendant la fabrication ; cette méthode est maintenant abandonnée. La surface extérieure présentait aussi des corrosions notables.

1. Figure communiquée par *le Génie civil.*

Influence des soudures. — M. Bach a étudié également l'influence des soudures et celle de l'épaisseur des parois.

Il signale une bouteille en fer, fabriquée par soudure, et dont les parois avaient 9 à 11 millimètres d'épaisseur ; cette bouteille, quoique essayée à la pression de 250 atmosphères, se fendit suivant la ligne de soudure, sur une longueur de 58 centimètres. Une

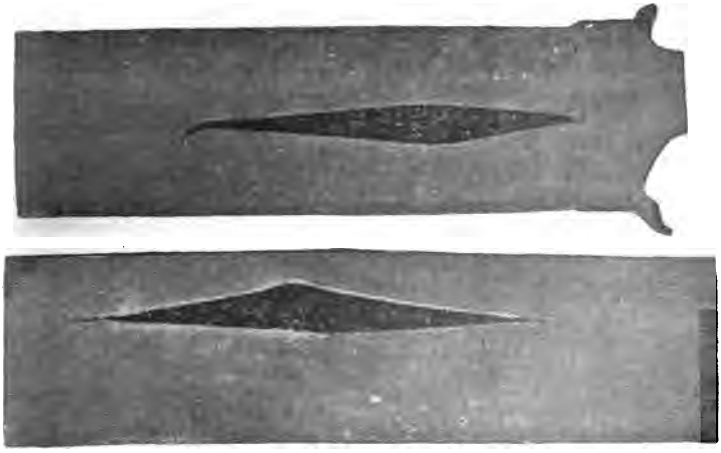


FIG. 104. — Effets de la rupture sur les bouteilles bien recuites[1].

soudure imparfaite peut donc évidemment créer une ligne de moindre résistance.

Influence de l'épaisseur des parois. — Il examine ensuite les récipients fabriqués avec des tubes d'acier sans soudure obtenus par les procédés Ehrhardt ou

1. Figure communiquée par *le Génie civil.*

Mannesmann. L'effort de tension E, correspondant à une pression de p kg. par cq., est donné par la formule

$$E = p\left(\frac{D}{2e} - 1\right),$$

Détant le diamètre extérieur et e l'épaisseur, qui était normalement de 4,5 millimètres. Lorsqu'on soumet ces bouteilles à une pression d'épreuve de 250 atmosphères, E s'élève à 3 639 kilogrammes par cen-

Fig. 105. — Effets de la rupture sur les bouteilles imparfaitement recuites[1].

timètre carré; cette valeur est voisine de la limite d'élasticité, qui est de 3 765 à 4 072 kilogrammes pour le métal recuit. Pour uue pression de 80 atmosphères, qui est à peu près la valeur limite donnée par

1. Figure communiquée par *le Génie civil.*

l'acide carbonique, on a 1 164 kilogrammes : pour 120 atmosphères, on aurait 1 747 kilogrammes.

M. Bach conclut que, dans ces conditions, le métal ne travaille pas sous un effort exagéré, mais que, pour les essais à 250 atmosphères, l'épaisseur ne doit pas être inférieure à 4,5 millimètres, afin d'éviter les efforts de tension supérieurs à la limite d'élasticité. Ainsi une bouteille, qui s'est fendue dans une épreuve de ce genre, n'avait au point de rupture qu'une épaisseur de 3,3 millimètres, ce qui donnait un effort de tension beaucoup trop grand, 5 303 kilogrammes.

Il est donc nécessaire d'exiger, pour éviter les chances de rupture, une résistance et une ténacité suffisantes, une épaisseur assez grande des parois et un recuit parfait après la fabrication.

Caractères des bouteilles bien recuites. — Lorsqu'un récipient convenablement recuit vient à éclater pendant une épreuve de pression à l'eau, la ligne de rupture est généralement longitudinale et ne présente que peu ou pas de tendance à prendre une direction transversale (fig. 104). Il n'en est pas de même pour les bouteilles imparfaitement recuites : les fibres longitudinales ne peuvent supporter l'effort résultant de la déformation des bouteilles et se brisent (fig. 105). Le même effet s'observe sur la figure 103.

CHAPITRE XXXII.

RÈGLEMENTS ADMINISTRATIFS CONCERNANT LA PRÉPARATION ET L'EMPLOI DE L'ACÉTYLÈNE.

Rapport présenté par M. Vieille au Conseil d'hygiène, le 17 juillet 1896, sur la préparation et l'emploi du gaz acétylène pour l'éclairage. — Ordonnance concernant l'emploi des réservoirs et appareils générateurs d'acétylène d'un débit journalier inférieur à dix mètres cubes, à l'exclusion des lampes portatives. — Circulaire de la Préfecture de Police. — Rapport présenté par M. Vieille au nom de la commission dite « de l'acétylène » et approuvé par le Conseil d'hygiène et de salubrité de la Seine dans sa séance du 8 janvier 1897.

Rapport présenté par M. Vieille au Conseil d'hygiène, le 17 juillet 1896, sur la préparation et l'emploi du gaz acétylène pour l'éclairage

MONSIEUR LE PRÉFET,

Par votre lettre du 6 mai 1896, vous m'avez communiqué deux demandes d'autorisation et deux rapports du Service d'inspection des Établissements classés concernant la fabrication du gaz acétylène pour l'éclairage, et vous m'avez invité à soumettre au Conseil de Salubrité un rapport sur la question de savoir s'il n'y aurait pas lieu de classer, soit par assimilation, soit par un décret spécial, dans la nomenclature des établissements dangereux, insalubres ou

incommodes, la production de l'acétylène pour l'éclairage et l'existence d'un gazomètre contenant ce gaz.

Dans le cas où une simple ordonnance de police, analogue à celle qui concerne les carburateurs, serait jugée préférable, vous m'avez demandé de déterminer les dispositions indispensables à la sécurité publique qu'il conviendrait de prescrire.

Le Conseil d'Hygiène a désigné, dans sa séance du 5 juin, sur la demande de votre délégué, une Commission composée de MM. Troost, Schutzenberger, Moissan, Riche, Michel Lévy, Bunel et Vieille, en vue d'étudier les questions complexes soulevées par votre dépêche précitée.

Suivant le désir exprimé par le Conseil, MM. Chaperon, ingénieur en chef à la Compagnie des chemins de fer de Lyon, Dumont, ingénieur des services techniques et de l'exploitation de la Compagnie de l'Est, Girard, chef du Laboratoire municipal de chimie, Ogier, chef du Laboratoire de toxicologie, Bordas, sous-chef au Laboratoire de chimie, Bezançon, chef de la 2e Division et Drujon, chef du 4e Bureau, ont été adjoints à ladite Commission.

L'application de l'acétylène à l'éclairage est de date toute récente : elle résulte, en effet, du progrès de l'industrie électrique et des beaux travaux de M. Moissan relatifs à la production industrielle du carbure de calcium. Ce produit, obtenu aujourd'hui à bas prix, donne l'acétylène par une réaction d'une extrême simplicité consistant à traiter le carbure par l'eau.

D'autre part, le pouvoir éclairant considérable de l'acétylène permet d'obtenir la lumière avec une dépense de gaz à l'heure dix à quinze fois moindre que celle d'un bec de même puissance alimenté par le gaz d'éclairage ordinaire.

Dans ces conditions, il a été possible de concevoir de petites installations, pour ainsi dire individuelles, destinées à éclairer un établissement particulier, tel qu'un atelier ou un magasin.

Ces conditions de production et d'emploi restreintes et spéciales au gaz acétylène ne permettent pas, dans l'opinion de la Commission, d'assimiler de pareilles installations aux fabrications de gaz d'éclairage et de chauffage pour usage particulier, prévues par le décret du 3 mai 1886 et dont l'importance est beaucoup plus considérable.

Aussi la Commission a-t-elle été d'avis qu'il y avait lieu de distinguer deux catégories d'installations d'éclairage à l'acétylène :

1° Celles qui correspondent à un débit journalier de plus de 10 mètres cubes, pour lesquelles l'assimilation à des fabrications de gaz d'éclairage et de chauffage pour usage particulier ne paraît pas discutable ;

2° Les installations comportant une production journalière inférieure à 10 mètres cubes, dont une ordonnance de police réglementerait les dispositions indispensables à la sécurité publique.

Le projet de cette ordonnance est joint au présent rapport. Les mesures de sécurité qui y sont prescrites

sont basées sur les données d'expériences, malheureusement très incomplètes, que la Commission a pu réunir sur ce sujet. Il y a donc lieu de regarder ces prescriptions comme essentiellement provisoires et revisables au fur et à mesure que l'expérience aura mis en évidence des inconvénients pratiques qui ne sauraient être établis *à priori*.

Les dangers que peut présenter l'emploi de l'acétylène pour l'éclairage sont de diverses natures. Ils peuvent être rattachés à la toxicité du gaz, à son aptitude à former des mélanges explosifs avec l'air et enfin à ses propriétés explosibles, résultant de son caractère endothermique.

En ce qui concerne la toxicité, la Commission estime que les faits antérieurement connus, les expériences récentes de M. Gréhant et les observations personnelles de ses membres, autorisent à penser que l'emploi de l'acétylène présente des dangers d'intoxication plus faibles que ceux qui résultent de l'emploi du gaz d'éclairage ordinaire et que par suite les précautions de ventilation admises dans les locaux éclairés au gaz sont suffisantes pour écarter tout danger. Ces précautions ont été prescrites dans le projet d'ordonnance joint au présent rapport.

En ce qui concerne l'aptitude à la formation de mélanges explosifs avec l'air, l'acétylène présente des causes de danger sensiblement supérieures à celles que comporte l'emploi du gaz. Il résulte, en effet, des expériences de M. Le Chatelier que les limites de com-

bustibilité de ces mélanges varient de 2,8 pour 100 à 65 pour 100, tandis qu'elles sont de 6 et 28 pour 100 environ pour le gaz d'éclairage. Parmi les mélanges à proportions variables, en nombre illimité, qui s'étendent depuis le gaz pur jusqu'à l'air pur, il y a donc trois fois plus de chance environ de rencontrer un mélange explosif dans le cas de l'acétylène que dans le cas du gaz d'éclairage.

Il résulte d'expériences signalées à la Commission que le mélange à 3 pour 100 doit être considéré comme franchement explosif et que les pressions des mélanges correspondant à la combustion complète sont respectivement :

De 6 kilogrammes pour le mélange à 15 pour 100 de gaz d'éclairage et d'air ;

Et de 8 kilogrammes pour le mélange à 7,8 pour 100 d'acétylène et d'air.

C'est pour tenir compte de ces causes de danger que la Commission a introduit dans le projet d'ordonnance des conditions rigoureuses, relatives à la ventilation des locaux renfermant les appareils générateurs d'acétylène et à l'élimination des produits usés.

Il y a lieu de redouter, en effet, dans les appareils à production continue, des défauts de fonctionnement automatique susceptibles d'entraîner des dégagements de gaz accidentels et, dans les appareils discontinus à gazomètre, la diffusion du gaz à travers le liquide obturateur, diffusion facilitée par la grande solubilité de l'acétylène. C'est en raison de cette solubilité que la

Commission n'a pas admis l'envoi direct des liquides résiduels à l'égout.

Les expériences signalées à la Commission relatives aux propriétés explosives du gaz acétylène ne l'autorisent à exclure *a priori* aucun des procédés de génération ou d'emploi proposés jusqu'à ce jour. Il résulte toutefois de ces expériences que l'acétylène, sous des pressions supérieures à deux atmosphères, possède des propriétés analogues à celles des mélanges tonnants ordinaires, tel que le mélange d'hydrogène et d'oxygène, et qu'il détone sous l'influence d'un point en ignition en produisant des pressions huit à dix fois supérieures aux pressions initiales. Mais ce mode de décomposition cesse de se propager sous des pressions voisines de la pression atmosphérique, ce qui paraît exclure toute cause de danger résultant du retour de la flamme d'un brûleur au réservoir de gaz comprimé.

Les expériences suivantes ont été portées à la connaissance de la Commission :

1° Un récipient en acier, chargé d'acétylène à 10 atmosphères, a pu être soumis à des chocs violents et finalement à l'écrasement sous un mouton de 250 kilogrammes, tombant de six mètres de hauteur, sans donner lieu à explosion.

2° Une bouteille en fer forgé, chargée d'acétylène à la même pression, a subi sans explosion le choc d'une balle animée d'une vitesse suffisante pour perforer la paroi antérieure et déprimer la deuxième paroi.

3° Une bouteille en acier de un litre, chargée de

300 grammes d'acétylène liquide, a été soumise à des chocs violents, et finalement à l'écrasement complet sous un mouton de 250 kilogrammes tombant de six mètres de hauteur, sans détonation du récipient. Le choc a été toutefois suivi, à un faible intervalle, d'une explosion du mélange tonnant d'acétylène et d'air formé après rupture de la bouteille.

Ces inflammations, consécutives à la rupture d'un récipient chargé d'un gaz combustible, ont été observées dans de nombreuses circonstances et constituent par suite une aggravation des dangers inhérents aux projections des débris métalliques de l'enveloppe. C'est pourquoi la Commission a cherché à restreindre la probabilité d'un pareil accident en imposant, par le projet d'ordonnance, aux récipients d'acétylène liquéfié, les conditions rigoureuses d'épreuve, de vérification et de chargement prescrites pour le transport par voie ferrée des récipients similaires chargés de gaz liquéfiés.

En résumé, Monsieur le Préfet, nous avons l'honneur de vous proposer :

1° De considérer comme des établissements classés les installations qui correspondent à un débit journalier d'acétylène de plus de dix mètres cubes ;

2° De prendre l'ordonnance ci-après, pour réglementer l'emploi des réservoirs et appareils générateurs d'acétylène d'un débit journalier inférieur à dix mètres cubes.

Il est entendu, d'ailleurs, que cette réglementation

ne serait pas applicable aux lampes portatives à l'acétylène, ces lampes ne pouvant être efficacement surveillées par des services administratifs.

Le Rapporteur,
VIEILLE.

Ordonnance concernant l'emploi des réservoirs et appareils générateurs d'acétylène d'un débit journalier inférieur à dix mètres cubes, à l'exclusion des lampes portatives.

. . . . . .

Considérant qu'en l'absence de certaines mesures de précaution, l'emploi des appareils générateurs d'acétylène peut présenter des dangers d'explosion et d'incendie.

ARTICLE PREMIER

Toute personne qui voudra, dans l'immeuble qu'elle occupe, employer un appareil générateur d'acétylène, sera tenue d'adresser préalablement à la Préfecture de Police une déclaration indiquant :

1° La désignation précise du local affecté à l'appareil ;

2° Une description de cet appareil, avec plans à l'appui, à l'échelle de 2^{cm} par mètre, et instruction sur le mode de fonctionnement, certifiée par le constructeur.

Cette déclaration, signée et datée, etc.

cipient vide avec tous ses accessoires, la charge en kilogrammes qu'il peut contenir, et qui doit être limitée à un kilogramme de liquide pour trois litres de capacité, et enfin la date de la dernière épreuve.

Toutes ces indications devront être poinçonnées par l'agent qui aura procédé à l'épreuve des récipients.

Les robinets des récipients devront être protégés par des chapes ou couvercles, du même métal que les récipients, vissés sur ces derniers et portant le même numéro poinçonné par l'agent qui aura procédé à l'épreuve.

ART. 5.

Toutes les précautions relatives à la canalisation et à la ventilation des locaux éclairés par le gaz d'éclairage ordinaire sont applicables aux locaux éclairés par le gaz acétylène.

Circulaire de la Préfecture de Police

A MM. les Commissaires de police de Paris et des Communes du ressort de la Préfecture de Police.

MESSIEURS,

M. le Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes vient de m'adresser les instructions ci-après au sujet des fabriques de carbure de calcium et d'acétylène :

« Monsieur le Préfet, vous m'avez demandé des instructions au sujet du classement à attribuer aux fabriques de carbure de calcium et d'acétylène.

« Le Comité, après un examen approfondi, vient de me présenter les propositions de classement suivantes :

Fabriques de carbure de calcium.		1re classe.
Fabriques d'acétylène comprimé à plus d'une atmosphère et demie ou liquéfié.		1re —
Fabriques d'acétylène gazeux non comprimé ou comprimé à moins d'une atmosphère et demie.	pour l'usage public. . .	1re —
	— particulier.	3e —

« Je vais saisir le Conseil d'État d'un projet de classement dans ce sens, mais il s'écoulera forcément un certain temps avant que cette haute Assemblée se soit prononcée.

« En attendant, vous pouvez, en vertu de l'article 5 de l'Ordonnance royale du 14 janvier 1815, appliquer les classements proposés par le Comité et indiqués ci-dessus. »

Pour me permettre d'appliquer ces instructions ministérielles, je vous prie, Messieurs, de me signaler sans retard les fabriques de carbure de calcium et d'acétylène qui peuvent exister dans le périmètre de votre commissariat.

Le Préfet de police,
LÉPINE.

Rapport présenté par M. Vieille au nom de la commission dite « de l'acétylène » et approuvé par le Conseil d'hygiène et de salubrité de la Seine dans sa séance du 8 janvier 1897.

Paris, le 18 décembre 1896.

MONSIEUR LE PRÉFET,

La Commission de l'acétylène a discuté, dans ses séances des mercredis 9 et 16 décembre, des questions multiples concernant les divers modes de préparation et d'emploi de l'acétylène, qui lui ont été soumises par M. le Préfet de Police. Le présent rapport résume ses conclusions.

Les questions soumises à l'appréciation de la Commission peuvent se répartir dans les catégories suivantes :

1° Installations d'appareils producteurs d'acétylène sous pression inférieure à 1 atmosphère et demie destinés à l'éclairage particulier ;

2° Installations comportant l'emploi de récipients d'acétylène liquéfié et dépôt commercial des récipients destinés à ces installations ;

3° Conditions d'emploi de l'acétylène comprimé sous des pressions inférieures à 10 atmosphères, pour l'éclairage de voitures circulant sur la voie publique ou sur les voies ferrées.

1° Installations d'appareils producteurs d'acétyléne sous pression inférieure à 1 atmosphère et demie destinés à l'éclairage particulier.

La Commission a reçu communication des observa-

tions faites à la requête de M. le Préfet de police par plusieurs de ses membres au sujet d'installations de divers systèmes d'appareils à acétylène sous pression réduite fonctionnant dès aujourd'hui dans Paris.

Les installations visitées présentent des importances très variables.

La plus importante est celle de MM. Luchaire. Elle a un caractère permanent, alimente 200 becs, et l'appareil générateur est placé à l'air libre sous un hangar.

Le plus grand nombre des autres installations fonctionne comme appareils de démonstration dans des boutiques (attenant à la voie publique) d'industriels fabriquant des appareils pour usage particulier.

Dans ces installations, l'appareil générateur est placé dans la salle de vente, à proximité des becs ou brûleurs, sans séparation ni ventilation spéciale.

Une seule installation particulière de minime importance a été visitée chez M. de Perrodil, ingénieur des Arts et Manufactures. Cet appareil, alimentant deux à trois becs, est placé dans la cuisine, avec un tuyau d'échappement de sûreté donnant dans une cheminée d'appel.

La Commission estime que les installations où l'appareil générateur est placé à l'air libre peuvent être provisoirement tolérées sans modification jusqu'au moment où une autorisation régulière aura été accordée.

Pour les installations constituant des appareils de démonstration chez les fabricants des divers systèmes destinés à l'éclairage particulier, la Commission est d'avis qu'il y a lieu de prescrire immédiatement la

séparation de l'appareil générateur du local éclairé. Cette séparation pourrait être effectuée par des cloisons vitrées permettant la vue de l'appareil, mais constituant une enceinte close, largement aérée par des vasistas ou ventouses donnant sur l'extérieur. Le maniement de ces appareils par un personnel exercé et au courant des particularités de leur fonctionnement constitue évidemment une garantie de sécurité spéciale, mais la Commission considère comme indispensable que les conditions d'installation mises sous les yeux du public soient conformes à celles qu'il y a lieu d'exiger dans toute installation particulière. Il y a lieu, en outre, de proscrire les tubes de caoutchouc servant à la réunion du gazogène et du gazomètre, du gazomètre et de la canalisation.

En ce qui concerne l'installation personnelle de M. de Perrodil, installation dont le chargement en carbure de calcium ne dépasse pas 500 grammes, la Commission relève l'anomalie que présenterait le classement d'un appareil dont le débit est très inférieur à celui de nombreux appareils portatifs qui ont été expressément exclus par le Comité des Arts et Manufactures de la catégorie des installations ou ateliers de fabrication d'acétylène soumis au classement.

Elle est d'avis que le classement doit être basé non sur le caractère de mobilité de l'appareil qui, toutes choses égales d'ailleurs, constitue une condition défavorable, mais sur la puissance de l'appareil, avec ou sans gazomètre.

Il est évident qu'une pareille immunité accordée aux

appareils mobiles aurait pour conséquence immédiate la création de lampes portatives de grande puissance, dont la sécurité serait inférieure à celle d'appareils fixes convenablement installés et comportant l'avantage de la division du foyer lumineux.

La Commission rappelle d'ailleurs que le principe du classement des gazomètres pour usage particulier n'est point appliqué d'une façon absolue et quel que soit le volume du gazomètre, aux installations de gaz d'éclairage ordinaire. Les régulateurs des types Giroult ou Moitessier, les réservoirs intermédiaires disposés entre les canalisations et les machines à gaz, constituent des réservoirs à gaz, pour usage particulier, dont l'importance est tout à fait comparable à celle des cloches régulatrices des appareils producteurs d'acétylène, et ces appareils d'un emploi très général ne sont pas soumis au classement.

2° Installations comportant l'emploi de récipients d'acétylène liquéfié et dépôt commercial de récipients destinés à ces installations.

La Commission a été saisie d'une demande de la Société française d'Acétylène industriel pur Raoul Pictet, à l'effet d'être autorisée :

1° A installer dans une boutique une exposition [illegible] ses procédés d'éclairage ;

2° A faire dans cette boutique un dépôt prov[isoire] de bonbonnes d'acétylène liquéfié ;

3° A livrer dans Paris et la banlieue [illegible] d'acétylène liquéfié.

La Commission estime qu'il y a lieu de surseoir à l'examen de ces demandes jusqu'au moment où l'instruction ouverte relativement à l'explosion récemment survenue rue Championnet et l'étude des différentes causes de dangers que peuvent comporter la manipulation et l'emploi des bonbonnes chargées d'acétylène liquéfié auront fourni les bases des prescriptions qu'il conviendrait d'édicter au sujet de la nature, du mode de construction et d'emploi de ces récipients.

3° Conditions d'emploi de l'acétylène comprimé sous des pressions inférieures à 10 atmosphères pour l'éclairage de voitures circulant sur la voie publique ou sur les voies ferrées.

La Commission a été saisie de la question de l'emploi de l'acétylène à l'éclairage des voitures circulant sur la voie publique ou sur les voies ferrées.

Cette application est une de celles qui présentent le plus sérieux intérêt; elle paraît devoir comporter, si l'on en juge par les systèmes expérimentés jusqu'à ce jour, l'emploi de l'acétylène comprimé.

On sait que sous cette forme comprimée, l'acétylène possède des propriétés explosives susceptibles de se manifester dans des conditions, évidemment très exceptionnelles, mais dont il paraît impossible de ne pas tenir compte dans des installations maintenues d'une façon permanente en contact avec le public.

D'autre part, il est évident que l'expérience seule permettra de reconnaître les avantages comme les in-

convénients des systèmes proposés et les chances d'accident qu'ils comportent.

La Commission a pensé qu'il était possible de concilier cette nécessité des essais préalables dans les conditions de la pratique et la nécessité non moins grande d'une sécurité absolue de la voie publique, en imposant à titre provisoire aux appareils expérimentés des conditions de solidité qui leur permettent de résister sans rupture, dans le cas, d'ailleurs improbable, où les propriétés explosives de l'acétylène viendraient à se manifester.

Ces conditions d'autorisation devront être étudiées dans chaque cas particulier; mais elles seraient établies sur les bases suivantes :

1° Les réservoirs de gaz comprimé seront essayés et timbrés à une pression au moins égale à celle que développerait la décomposition de l'acétylène sous la pression de chargement maxima admise dans l'installation.

Pour ce qui concerne les installations comportant l'emploi de l'acétylène non dissous, les pressions d'épreuve pourraient être provisoirement fixées à :

9 kg	pour	2 kg	de pression initiale absolue.
16	—	3	—
24	—	4	—
34	—	5	—
44	—	6	—
55	—	7	—
66	—	8	—
77	—	9	—
90	—	10	—

Ils seront construits suivant les règles de l'art;

2° Le cuivre et ses alliages seront exclus de la construction des réservoirs, des détendeurs, de la canalisation et des becs ;

3° L'acétylène utilisé sera préalablement purifié.

La Commission a émis le vœu que des autorisations temporaires et révocables puissent être accordées, après enquête par les services techniques, pour des *installations d'essai* de faible importance, destinées à rendre possible l'exécution des expériences qui viennent d'être mentionnées.

Ces installations d'essai ne seraient pas soumises aux formalités de classement exigées des installations similaires destinées à une exploitation industrielle.

La Commission rappelle que des autorisations de cette nature sont dès aujourd'hui admises pour les recherches relatives aux matières explosives effectuées par des particuliers. (*Circulaire du Ministre de l'intérieur aux préfets du 31 octobre 1896.*)

Les Rapporteurs,

A. MICHEL-LÉVY, E. JUNGFLEISCH, P. VIEILLE.

CONCLUSION

En résumé, l'acétylène peut fournir de nombreuses applications, qui, sans doute, ne prendront pas toutes par la suite la même extension, et sur l'avenir desquelles il est encore difficile de se prononcer. L'éclairage est certainement celle qui paraît susceptible de se développer le plus rapidement et la seule dont on puisse attendre dès aujourd'hui des services réels.

La préparation de l'acétylène par le carbure de calcium est extrêmement simple : elle doit cependant être toujours menée avec précaution. Il est utile d'employer un bon produit, donnant un rendement assez élevé et surtout bien constant, afin de pouvoir toujours connaître facilement la quantité de gaz dont on dispose ; il faut aussi se servir d'un bon appareil, satisfaisant aux conditions que nous avons indiquées plus haut.

Emmagasiné sous une pression peu supérieure à celle de l'atmosphère, l'acétylène peut être employé sans aucun danger pour l'éclairage ; nous voulons dire qu'il suffit de prendre les mêmes précautions que pour le

gaz de houille ou pour tout autre gaz combustible; c'est là un point absolument acquis. Ces précautions, qui consistent, comme nous l'avons dit plus haut, à éviter le mélange de l'acétylène avec l'air, doivent être, d'ailleurs, soigneusement observées, et l'on doit éviter rigoureusement toute imprudence.

L'acétylène comprimé est d'un maniement plus délicat, et la même remarque s'applique, à plus forte raison, à l'acétylène liquide. Outre les causes sérieuses de danger dues à sa nature endothermique, l'acétylène, sous ces deux dernières formes, est toujours renfermé dans des cylindres en fer, qui sont exposés, comme les bouteilles à oxygène et à gaz carbonique, aux accidents provenant d'un remplissage exagéré ou d'un défaut dans la qualité du métal. Aussi convient-il actuellement d'exclure ces récipients des applications domestiques et d'en réserver l'usage aux personnes expérimentées.

MM. Berthelot et Vieille ont tiré de leurs expériences, rapportées plus haut, un certain nombre d'indications utiles sur les précautions qu'il convient de prendre dans les opérations industrielles relatives à la préparation ou à l'emploi de l'acétylène. Il nous paraît indispensable de les reproduire ici:

« 1° La première (cause d'élévation de température locale) résulte de l'attaque du carbure de calcium en excès par de petites quantités d'eau, dans un appareil clos. M. Pictet a rapporté un accident de cette nature. Il y a lieu dès lors de redouter, dans la réaction de

l'eau sur le carbure, des élévations de températu locales, susceptibles de porter quelques points de masse à l'incandescence, l'ignition de ces points su fisant, d'après les expériences que nous venons d'e poser, pour déterminer l'explosion de toute la mas du gaz comprimé.

« L'élévation locale de la température ainsi pr voquée peut d'ailleurs développer des effets successif c'est-à-dire déterminer d'abord la formation des poly mères condensés de l'acétylène, étudiés en détail pa l'un de nous. Cette formation même dégage de la cha leur, et la température s'élève ainsi, dans certaine conditions, jusqu'au degré où la décomposition d l'acétylène en ses éléments devient totale, et mêm explosive.

« 2° D'autres causes de danger, dans les opérations industrielles, peuvent résulter des phénomènes de compression brusque, lors du chargement des réservoirs de gaz, ainsi que des phénomènes de compression adiabatique qui accompagnent l'ouverture brusque d'un récipient d'acétylène sur un détendeur, ou sur tout autre réservoir de faible capacité. On sait, en effet, qu'il a été établi, par des expériences effectuées sur des bouteilles d'acide carbonique liquide, munies de leur détendeur, que l'ouverture brusque du robinet détermine, dans ce détendeur, une élévation de température susceptible d'entraîner la carbonisation de copeaux de bois, placés dans son intérieur. Dans le cas de l'acétylène, des températures de cet ordre pourraient en-

traîner une décomposition locale, susceptible de se propager, *a retro*, dans le milieu gazeux maintenu sous pression et jusqu'au réservoir.

« 3° Un choc brusque, dû à une cause extérieure capable de rompre une bouteille, ne paraît pas de nature à déterminer directement l'explosion de l'acétylène. Mais la friction des fragments métalliques les uns contre les autres, ou contre les objets extérieurs, est susceptible d'enflammer le mélange tonnant constitué par l'acétylène et l'air, mélange formé consécutivement à la rupture du récipient. »

MM. Berthelot et Vieille concluent d'ailleurs que ces causes de danger ne sont pas suffisantes pour faire rejeter l'emploi de l'acétylène.

« Hâtons-nous d'ajouter que ces inconvénients ne sont pas, à nos yeux, de nature à compenser les avantages que présente cette matière éclairante et à en limiter l'usage. Il est facile, en effet, de parer à ces risques par des dispositions convenables, indiquées par nos expériences, telles que, d'une part, l'opérateur évite un écoulement trop brusque du gaz comprimé au travers des détendeurs, et que, d'autre part, il prenne soin d'absorber à mesure la chaleur produite par les compressions et réactions intérieures des appareils, de façon à y prévenir toute élévation notable de température. »

Il convient d'ajouter que, si l'on parvient à utiliser l'acétylène liquide sans aucun péril, il constituera la forme la plus avantageuse de ce corps, car c'est un

excellent accumulateur d'énergie, un litre de ce liquide pouvant fournir 375 litres de gaz, c'est-à-dire environ 68 carcels-heure.

Quel est l'avenir de l'acétylène? Ce nouvel illuminant est-il destiné, comme l'affirment certains de ses défenseurs, à supplanter tous les autres et à devenir l'unique source de lumière en usage. Il est difficile de prévoir ce qui arrivera dans un temps un peu éloigné, mais, dans l'état actuel de la question, un triomphe aussi complet ne paraît pas probable. D'ailleurs la question du prix de revient jouera certainement un rôle important, et le développement de l'éclairage à l'acétylène, comme celui des autres applications de ce gaz, est subordonné au prix de vente du carbure de calcium. L'acétylène a en effet à lutter contre deux puissants rivaux. Le gaz de houille, grâce à ses nombreux sous-produits et à l'amortissement généralement réalisé des appareils de production, permet souvent d'abaisser suffisamment le prix de vente pour défier toute concurrence. La lumière électrique a pour elle de nombreux avantages, qui la font parfois choisir, même lorsque son prix de revient est plus élevé : intensité, sécurité, conservation de la pureté de l'air, suppression de la fumée et de l'odeur, facilité d'allumage, etc.

L'acétylène, jusqu'ici, se distingue surtout par la simplicité de sa préparation : il convient donc à toutes les installations comprenant un trop petit nombre de becs pour justifier la création d'une usine à gaz ou

d'une station d'électricité : hôtels, villas, fermes, maisons isolées, châteaux, etc. Pour la même raison, il peut être employé dans les tramways et les wagons de chemins de fer. Il y a donc là toute une série d'applications qui paraissent réservées à l'acétylène et qui lui assureront sans doute une place spéciale, et non des moins importantes, entre ses deux redoutables concurrents, le gaz et l'électricité.

Une dernière remarque, pour terminer. A mesure que les procédés d'éclairage se multiplient et se perfectionnent, nous devenons plus exigeants. Pour satisfaire à ce besoin de lumière sans cesse croissant, un grand nombre de progrès ont été réalisés depuis quelques années, et ils sont dus, pour la plupart, à la lutte engagée depuis quinze ans entre le gaz et l'électricité. Il est à croire que l'apparition d'un nouvel illuminant aura un résultat analogue et provoquera à son tour de nouvelles améliorations dans nos procédés d'éclairage; c'est encore là un service que nous rendra sans nul doute l'acétylène.

APPENDICE.

Rapport de M. Vieille au Conseil d'hygiène publique et de salubrité de la Seine, sur une fabrique de gaz acétylène comprimé[1].

MONSIEUR LE PRÉFET,

M. le Président de la Compagnie générale des Omnibus de Paris sollicite l'autorisation de mettre à exécution un projet d'installations à effectuer dans son dépôt d'Ivry.

Ce projet a été établi en vue d'assurer :

1° L'éclairage du dépôt d'Ivry au moyen du gaz acétylène, sous une pression de 20 centimètres d'eau, voisine de la pression atmosphérique. Cette installation alimenterait 150 becs environ d'une consommation horaire de dix litres ;

2° L'éclairage de 16 voitures automotrices et de 8 voitures d'attelage desservant la ligne d'Ivry-Les Halles, au moyen du gaz acétylène comprimé à 4 kilos dans les réservoirs des voitures et à 6 kilogrammes dans les accumulateurs fixes servant à les charger.

1. Adopté dans la séance du 11 juin 1897.

[illegible] a soulevé
[illegible] une initiative
[illegible] produit par
[illegible]
[illegible] commissaire de po-
[illegible] autorisation
[illegible] les plus sévères et
[illegible] d'une surveillance active
[illegible].
[illegible] son avis que
[illegible] le déclare
[illegible] efficace
[illegible] matériaux
[illegible]
[illegible] l'arrondissement de
[illegible] l'installation
[illegible] conditions anté-
[illegible] par le Conseil d'hygiène de la
[illegible] des eaux résiduaires.
[illegible] le gaz
[illegible] des récipients.
[illegible] classés a discuté
[illegible] parties du projet de
[illegible] relatives aux
[illegible] dépôt d'Ivry. Son
[illegible] sous les conditions de
[illegible] être rappelées.
[illegible] Compagnie générale des Omnibus
[illegible]. Les deux premières concernent

des installations fixes destinées à fournir, l'une l'acétylène sans pression pour l'éclairage du dépôt, et l'autre l'acétylène comprimé pour le chargement des voitures. Ces deux installations sont en principe indépendantes, mais elles ont été ingénieusement rapprochées et combinées, de façon à permettre de recueillir dans le gazomètre destiné à l'éclairage du dépôt les gaz résiduels subsistant dans les gazogènes à la fin de chaque opération de compression.

La troisième partie du projet concerne l'installation sur les voitures de réservoirs de gaz comprimé destinés à leur éclairage.

I. — INSTALLATIONS FIXES.

Emplacement. — Les installations fixes prévues dans le dépôt d'Ivry sont groupées à droite de la porte d'entrée, le long du mur de clôture longeant la rue Pierre-Lescot, à la suite de bâtiments existants adossés au même mur et servant d'atelier.

Le sol du dépôt est, dans cette partie affectée à la fabrique d'acétylène, à 3 mètres environ en contre-bas de la rue Pierre-Lescot, et le mur de clôture formant mur de soutènement s'élève à 6 mètres au-dessus du niveau du sol de l'usine. Dans ces conditions, le voisinage se trouverait efficacement protégé, si l'on voulait admettre l'éventualité d'un accident, par le remblai même de la rue et un mur de grande résistance.

L'installation sera disposée sous un hangar faisant

suite au bâtiment des ateliers, largement ventilé sur la vaste cour du dépôt.

FABRICATION DE L'ACÉTYLÈNE SANS PRESSION.

L'éclairage du dépôt comporte l'alimentation de 150 becs de 10 litres. La production sera assurée par un appareil automatique du système Resener et Luchaire, dans lequel la pression commune au gazomètre et au gazogène ne dépasse pas 30 centimètres d'eau.

Ce système, dans lequel l'introduction de l'eau dans les gazogènes est commandée par le mouvement de la cloche du gazomètre, a été déjà autorisé dans une installation servant à l'éclairage des ateliers de M. Luchaire, 25 et 27, rue Érard, à Paris.

Cette partie de l'installation, faite sous un hangar largement ventilé, n'appelle aucune observation spéciale et paraît pouvoir être autorisée sous les conditions d'usage relatives aux appareils sans pression.

FABRICATION DE L'ACÉTYLÈNE COMPRIMÉ.

Cette fabrication comporte la production journalière de 3,4 mètres cubes d'acétylène, sous la pression absolue de 4 kilogrammes, c'est-à-dire d'un volume de $13^{mc},5$ de gaz évalué sous la pression atmosphérique.

MODE DE COMPRESSION.

En vue d'éviter les causes de danger inhérentes à la compression mécanique d'un gaz qui possède sous

pression des propriétés explosives, la Compagnie a eu recours à la compression automatique résultant de la décomposition du carbure par l'eau en capacité close.

Ce mode de fabrication ne paraît comporter qu'une seule cause de danger, provenant des élévations de température locales qu'il y a lieu de redouter, notamment dans la réaction de l'eau sur le carbure en excès. Pour éviter cette cause de danger, le projet prévoit, non pas l'arrivée de l'eau sur le carbure, mais la chute lente et réglable à volonté du carbure dans un excès d'eau.

AGENCEMENT DES APPAREILS.

A cet effet, la charge totale de carbure nécessaire au chargement journalier, soit 45 kilogrammes, est introduite dans une trémie occupant la partie supérieure d'un réservoir cylindrique formant gazogène, dont la partie inférieure renferme un excès d'eau égal à cinq fois le poids du carbure. Un appareil de distribution par vis sans fin, actionné de l'extérieur au moyen d'une manivelle, permet de faire tomber progressivement, avec toute la lenteur désirable, le carbure dans la masse d'eau inférieure.

Nous pensons que cette disposition est de nature à écarter toute élévation locale de température susceptible de provoquer la décomposition de l'acétylène sous pression.

Le gaz produit dans le gazogène traverse un laveur, formé d'un récipient cylindrique en tôle d'acier de

3 mètres de hauteur, où il émulsionne une colonne liquide de 2 mètres de haut en passant à travers des diaphragmes perforés. Le liquide est formé d'une dissolution incongelable de chlorure de calcium et de sulfate de fer destinée à purifier le gaz.

A la suite du laveur, le gaz refroidi pénètre dans des récipients cylindriques formant accumulateurs, disposés en batterie, de 4 mètres et $0^{m},70$ de diamètre, au nombre de quatre, dans lesquels il s'emmagasine sous une pression croissant au fur et à mesure de la réaction jusqu'à la pression limite de 6 kilos absolus par centimètre carré.

Le débit journalier étant de $13^{mc},5$ de gaz, évalués sous la pression atmosphérique, mais disponibles sous la pression minimum de 4 kilogrammes nécessaire au chargement des voitures, on voit facilement que la capacité des accumulateurs doit être de $6^{mc},25$, soit $1^{mc},74$ par accumulateur. L'installation du gazogène et du laveur a été doublée pour assurer le service en cas de réparation. Chacun des récipients peut être isolé par des robinets d'arrêt. Il porte les appareils réglementaires de sûreté, manomètres et soupapes.

Lorsque la charge de carbure du gazogène a été épuisée, ce gazogène est isolé, par une manœuvre de robinet, du reste des appareils, et le gaz comprimé à 6 kilogrammes qu'il renferme, soit à l'état libre, soit en dissolution dans l'eau, est évacué dans le gazomètre sans pression servant à l'éclairage du dépôt. Le déplacement du gaz est achevé en mettant en communica-

tion la partie inférieure du gazogène avec un réser
d'eau, en charge de 3 mètres, alimenté par les e
résiduaires d'une opération précédente. Grâce à c
disposition, l'ouverture du gazogène, nécessitée pa
vidange de l'appareil et son nouveau chargemen
carbure, n'est accompagnée d'aucun dégagement
table de gaz. Cette disposition n'est pas seulen
avantageuse au point de vue économique ; en supprin
à peu près tout dégagement d'acétylène au cours
opérations, elle contribue à la sécurité générale
l'installation.

Les eaux résiduaires chargées de chaux sont
voyées par une rigole à un bassin de décantation
une pompe à main les élève dans le réservoir supéri
dont le fonctionnement a été indiqué plus haut.

Il reste à signaler les dispositions du projet pr
conformément aux indications antérieurement don
par le Conseil, pour éviter les causes d'inflamma
internes du gaz comprimé et pour s'opposer, dan
cas d'une inflammation, à des accidents extérieurs

1° En vue d'écarter la production d'acétylures ex
sifs, le cuivre et ses alliages ont été exclus de la fa
cation de toutes les parties des appareils ;

2° Ces appareils ont été établis de façon à rés
sans déformation à une pression d'épreuve de 50 l
grammes, supérieure, par conséquent, à la pres
produite en vase clos par la décomposition de l'ac
lène sous la pression de 6 kilogrammes absolus
centimètre carré. Sous cette pression d'épreuve

métal travaillera à 12 kilogrammes par millimètre carré, la limite de rupture étant de 45 kilogrammes.

Il est donc raisonnable d'admettre que, dans le cas improbable d'une inflammation interne, le seul effet extérieur se réduirait à des fuites par les soupapes, sans projections ni rupture.

II. — RÉSERVOIRS FIXÉS SUR LES VOITURES.

Le gaz sera renfermé dans des réservoirs en tôle d'acier, sous la pression de 4 kilogrammes absolus par centimètre carré. Ces réservoirs seront essayés à la pression d'épreuve de 30 kilogrammes, supérieure à la pression fournie par la décomposition de l'acétylène en vase clos sous la pression initiale de 4 kilogrammes.

Les voitures automobiles portent deux réservoirs de 90 litres, de 2 mètres de longueur et de $0^m,27$ de diamètre, fixés sous le châssis et à l'arrière. La provision de gaz assure l'éclairage de cinq lanternes pendant dix heures. Les voitures d'attelage sont munies d'un seul réservoir de 120 litres, de $1^m,70$ de longueur et de $0^m,31$ de diamètre, fixé tranversalement à l'avant de la caisse et protégé par une enveloppe en bois perforé. Ces voitures ne portent que trois lanternes, dont l'éclairage est assuré pendant 10 heures.

Le gaz sortant des réservoirs traverse un détendeur, d'où il se rend dans la canalisation sous la pression de 10 centimètres d'eau.

Le cuivre et ses alliages sont exclus de la construction des réservoirs, des détendeurs et de la canalisation.

Votre délégué est d'avis d'accorder l'autorisation demandée par la Compagnie générale des Omnibus aux conditions suivantes :

1° Les installations fixes, servant à la fabrication de l'acétylène non comprimé pour l'éclairage du dépôt d'Ivry et de l'acétylène comprimé pour le chargement des voitures, seront groupées à la suite du bâtiment des ateliers le long du mur de soutènement de la rue Pierre-Lescot ;

2° Ces installations seront disposées sous un hangar construit en matériaux incombustibles, adossé au mur de soutènement et largement ouvert sur les trois autres faces. Ce hangar sera clôturé par une palissade ou des panneaux à lames de persiennes. Les rigoles d'écoulement des liquides résiduaires, les bassins de décantation de ces liquides et le réservoir supérieur servant au refoulement du liquide décanté ne seront pas couverts ;

3° Les boues et résidus extraits du bassin de décantation ou des gazogènes sans pression alimentant le gazomètre seront dilués dans dix fois leur volume d'eau avant d'être rejetés à l'égout ;

4° Les opérations de fabrication du gaz acétylène et de chargement des voitures seront faites exclusivement à la lumière du jour. Il sera interdit d'introduire du feu sous une forme quelconque dans l'enceinte renfer-

mant les installations. L'interdiction d'y fumer y sera affichée d'une façon apparente ;

5° Les gazogènes, laveurs et accumulateurs servant à la fabrication du gaz comprimé, tels qu'ils sont décrits au projet, seront en acier doux non susceptible de trempe ; ils seront construits suivant les règles de l'art et éprouvés à 50 kilogrammes par les soins de l'Administration. Ils devront supporter cette épreuve sans déformation permanente. La pression maximum du gaz ne dépassera pas 6 kilogrammes de pression absolue par centimètre carré, soit 5 kilogrammes effectifs. Chaque récipient gazogène laveur et accumulateur sera muni des appareils de sûreté réglementaires (manomètre et soupape réglée à 6 kilogrammes). Le cuivre et ses alliages seront exclus de la construction des réservoirs, des robinets et de la canalisation du gaz comprimé. Les robinets seront à boisseau (métal antifriction) ou à tampon semi-plastiques. Les robinets à pointeau et d'une façon générale tous les organes donnant lieu à des frictions métalliques intenses au contact du gaz comprimé seront interdits. Dans cet ordre d'idées, le fonctionnement de l'appareil distributeur du carbure par vis sans fin dans le gazogène sera l'objet d'une vérification spéciale avant sa mise en service. Cette vérification sera effectuée (aussitôt que l'appareil sera construit) par les soins du Service des Établissements classés.

Les sels de cuivre seront exclus de la composition des liquides servant à la purification de l'acétylène ;

6° Les réservoirs fixés sur les voitures, tels qu'ils sont décrits au projet, seront en acier doux non susceptible de trempe; ils seront construits suivant les règles de l'art et éprouvés à 30 kilogrammes par les soins de l'Administration, Ils devront supporter cette épreuve sans déformation permanente. La pression maximum du gaz ne dépassera pas 4 kilogrammes de pression absolue, soit 3 kilogrammes effectifs par centimètre carré. Chaque récipient sera muni d'un manomètre. Les robinets seront à boisseau ou à tampon semi-plastiques. Les robinets à pointeau seront interdits. Le cuivre et ses alliages sont exclus de la construction de toutes les parties de l'appareil et de la canalisation en contact avec le gaz comprimé;

7° Le chargement des voitures en gaz comprimé sera fait à la lumière du jour. La mise en pression sera obtenue sans à coup, soit par l'ouverture progressive, au moyen de plusieurs tours d'une vis à pas serré, de valves ou robinets placés sur la canalisation des accumulateurs à 6 kilogrammes, soit par l'interposition permanente sur cette canalisation d'une boîte à ouate, d'un diaphragme ou de tout autre dispositif servant à retarder l'écoulement du gaz. En tout cas, la marche du manomètre sur les réservoirs des voitures sera suivie par l'agent préposé à l'opération du chargement et la vitesse d'accroissement de la pression ne dépassera pas 1 kilogramme par minute;

8° Les appareils destinés à fonctionner sous pression devront être maintenus en bon état d'entretien. A

cet effet, le permissionnaire devra faire procéder périodiquement, et au moins une fois par an, à des visites tant intérieures qu'extérieures, et ce par des personnes reconnues compétentes.

Le permissionnaire devra en outre faire procéder en temps utile à toutes les réparations jugées nécessaires. Ces visites et ces réparations seront mentionnées à leur date et en détail sur un registre spécial qui sera tenu constamment à la disposition des agents de l'Administration;

9° L'appareil producteur d'acétylène sans pression sera soumis aux conditions ordinaires relatives à ce genre d'appareils. Savoir : limitation de la pression dans le gazomètre et les gazogènes à 30 centimètres d'eau; exclusion des raccords par tubes de caoutchouc; application des prescriptions concernant les canalisations et la ventilation des locaux éclairés par le gaz d'éclairage ordinaire;

10° Le carbure de calcium sera contenu dans des récipients étanches et emmagasiné dans un local spécial largement ventilé. Les manipulations ne s'y feront qu'à la lumière du jour. Les récipients ne seront ouverts qu'au moment de leur utilisation; les matières en excès seront transvasées dans des récipients métalliques à fermeture étanche.

VIEILLE.

FIN.

TABLE ALPHABÉTIQUE

Acétylène. Modes de production, 101 ; synthèse de l'—, 101 ; préparation par l'acétylure cuivreux, 107 ; — par les carbures alcalino-terreux, 108 ; appareils à — 110 ; — dissous. Procédé Claude et Hess, 195 ; expériences de Berthelot et Vieille, 198 ; — dissous. Aptitude à la détonation, 367 ; — liquide, 184 ; combustion de l'—, 231 ; produits de la combustion complète, 231 ; impuretés, 201 ; purification, 202 ; caractères physiques, 205 ; solubilité, 206 ; liquéfaction, 206 ; propriétés de l'— liquide, 208 ; propriétés chimiques, 210 ; installation d'appareils producteurs d'— sous pression. Rapport de Vieille, 392, 396 ; emploi de récipients d'— liquéfié Rapport de Vieille, 395 ; fabrique de gaz — comprimé, rapport de Vieille, 405 ; ordonnance concernant l'emploi des réservoirs et appareils générateurs d'—, 387 ; prix de revient, 276 ; chauffage à l'—, 304 ; pouvoir calorifique de l'—, 306 ; application de l'— aux moteurs, 307 ; applications chimiques, 317 ; vitesse de propagation de la flamme. Température de combustion de l'—. Expériences de Le Chatelier, 236, 237 ; explication du pouvoir éclairant, 241 ; altération de l'air, 243.

Acétylure cuivreux : préparation, 104.

Acide prussique et cyanures. Préparation, 319 ; — sulfurique. Action de l'—, 229.

Air. Altérations de l'—, 243.

Alcool fabriqué par voie de synthèse, 320.

Ammoniaque. Action de l'—, 229.

Appareils à acétylène, 110 ; — Trouvé, 116 ; — Dickerson, 118 ; — At Home, 119 ; — Létang et Serpollet, 122 ; — Holliday, 123 ; — Gillet et Forest, 124 ; — Deroy, 125 ; — Prevost, 129 ; — Türr, 131 ; — de la Société du gaz acétylène, 134 ; — Clausolles, 136 ; — Dickerson, 136 ; — Le Phare, 138 ; — Bon, 141 ; — Le Tsar, 143 ; — Leroy et Janson, 145 ; — Cerckel, 147 ; — de Resener et Luchaire. 148 ; — Lequeux-Wiesnegg, 152 ; — Dickerson, 157 ; — de projections de la Société du gaz acétylène, 157 ; — Leroy et Janson, 160 ; — de la Société internationale de l'acétylène, 162 ; — Patin, 162 ; — Seguin et Perrodil, 165 ; — Beau et Bertrand-Taillet, 166 ; — Ducretet et Lejeune, 172 ; — Dickerson, 177 ; — Bullier, 179 ; — de la Compagnie P.-L.-M., 181.

Becs Bullier, 247 ; — Lebeau, 253 ; — Clausolles, 255 ; — de Perrodil, 256 ; — de Resener et Luchaire, 257.

Brevets Bullier, 5; — Willson, 7, 16.
Brome. Action du —. 217.
Brûleurs à acétylène, 245; — à incandescence. 253; — à acétylène seul, 254; — étalons, 258; — pour projections, photographies, 260.

Carburation du gaz de houille, 291.
Carbures alcalino-terreux pour la préparation de l'acétylène, 108.
Carbure de baryum. Préparation, 23; — propriétés, 84.
Carbure de calcium. Préparation, 21, 25; usines à —, 63; impuretés, 73; chaleur de formation du —, 78; propriétés physiques, 79; propriétés chimiques, 80; composition, 84; éléments qui influent sur le prix de revient, 91; expériences faites à l'usine de Spray, 95; rendement, 99; emploi du — dans les lampes à incandescence, 290; dessiccation du gaz d'éclairage par le —, 300; prix de revient et rendement, 89, 276.
Carbure de strontium. Préparation, 24; propriétés, 85.
Chauffage à l'acétylène, 304.
Chlorure cuivreux ammoniacal. Préparation, 103.
Combustion. Température de —. Expériences de Le Chatelier, 237.
Conservation et emploi de l'acétylène comprimé ou liquéfié, 187.

Détendeur Dickerson, 190.
Détonation. Aptitude de l'acétylène dissous à la —, 367.
Diodoforme. Fabrication du —, 317.

Éclairage des voitures et des wagons de chemin de fer, 280; — P.-L.-M., 281; — Est, 286; — Ouest, 288. Eclairage par un mélange d'acétylène et de gaz d'huile, 289; rapports de Vieille sur la préparation et l'emploi du gaz acétylène pour l'—, 380, 392.
Expériences de Gréhant, 232; — de Le Chatelier, 234.
Explosion des récipients à gaz comprimés ou liquéfiés, 373.

Fabrication de l'alcool par synthèse, 320.
Fabrique de gaz acétylène comprimé au départ d'Ivry, 405.
Fer, nickel, cobalt. Action du —, 223.
Flamme. Vitesse de la propagation de la —. Expériences de Le Chatelier, 236.
Fours électriques, 35; — Moissan, 36; — Bullier, 42; — Hérault, 47; — Willson, 48; — de Spray, 49; — du Niagara, 51; — Vincent, 53; — Borchers, 53; — Raoul Pictet, 54; — Patin, 56; — Patter, 60.

Gaz acétylène. Préparation et emploi pour l'éclairage, 380; fabrique de — comprimé, 405. Voy. *Acétylène*.
Gaz d'éclairage. Dessiccation du — par le carbure de calcium, 300; — de houille. Carburation du —, 291; propriétés du gaz, 297; pouvoir calorifique du —, 304.
Gazogène industriel, 158.
Générateurs fondés sur le principe du briquet à hydrogène, 116; — à écoulement d'eau proportionnel au débit; 134; — à chute de carbure, 152; — sous pression, 172; — produisant l'acétylène liquide, 184: app. Dickerson et Suckert, 184; — Raoul Pictet, 186; — Robinet Ducretet et Lejeune, 188; détenteur Dickerson, 190.

Hydracides. Action des —, 228.

Inflammation. Aptitude à l'— de l'atmosphère saturée et de la dissolution, 368.
Iode. Action de l'—, 218.

LAMPES portatives, 263; — Trouvé, 264; — Bazin et Leroy, 266; — Türr, 266; — Richard-Chouberskỳ, 268; — Deprez et Duthuit, 269; — Prevost, 270; — Gossart et Chevallier, 271; — Claude et Hess, 271; — Cerckel, 272; — Ducretet et Lejeune, 272; — à acétylène liquide, 273.

MACHINES marines. Application de l'acétylène aux moteurs, 308.
MÉTAUX alcalins et alcalino-terreux (action des), 221.
MOTEURS. Application de l'acétylène aux —, 307, 310; — aux machines marines, 308; — aux bicyclettes, 309.

ORDONNANCE concernant l'emploi des réservoirs et appareils générateurs d'acétylène, 387.
OXYGÈNE et oxydants. Action de l'—, 219.

PRIX de revient et rendement du carbure de calcium, 89, 276; — de l'acétylène, 276.
PRODUCTION de l'éthylène. Appareil pour la —, 323.

RÈGLEMENTS administratifs, 380.
RÉCIPIENT de sûreté de M. Fournier, 191.
ROBINET Ducretet et Lejeune, 188.

SÉRIE aromatique. Préparation des corps de la —, 318; — grasse. Préparation des corps de la —, 319.

TEMPÉRATURE de combustion de l'acétylène; — de la flamme de l'acétylène. Expériences de Le Chatelier, 237, 238.

USINES à carbure de calcium, 63; — de Froges, 63; — de Neuhausen, 64; — de Spray, 65; — du Niagara, 66; — de Notre-Dame de Briançon, 67.

VOITURES et wagons de chemin de fer éclairés à l'acétylène, 280; — P.-L.-M., 281; — Est, 286; — Ouest, 288; éclairage par un mélange d'acétylène et de gaz d'huile, 289; rapport de Vieille sur l'éclairage de — au gaz acétylène, 405; réservoirs fixés sur les —, 412.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

PRÉFACE v

INTRODUCTION 1

CHAP. I. **Brevets relatifs à la préparation du carbure de calcium** 5

Brevet Bullier, 5. — Brevet Willson, 7. — Second brevet Willson, 16.

CHAP. II. **Préparation des carbures alcalino-terreux** . . 21

Préparation du carbure de calcium, 21 ; — du carbure de baryum, 23 ; — du carbure de strontium, 24.

CHAP. III. **Fabrication industrielle du carbure de calcium.** 25

Préparation industrielle, 25. — Précautions indiquées par M. Bullier, 25. — Indications de MM. Morehead et de Chalmot, 27. — Expériences de Spray, 29.

CHAP. IV. **Fours électriques** 35

Principe des fours électriques, 35. — Fours Moissan, 36. — Fours Bullier, 42. — Four Héroult, 47. — Four Willson, 48. — Four de Spray, 49. — Four du Niagara, 51. — Four Vincent, 53. — Four Borchers, 53. — Four Pictet, 54. — Four Patin, 56. — Four Patter, 60.

CHAP. V. **Usines à carbure de calcium** 63

Usine de Froges, 63 ; — de Neuhausen, etc., 64 ; — de Spray, 65 ; — de Niagara, 66 ; — de Notre-Dame de Briançon, 67.

CHAP. VI. **Impuretés du carbure de calcium** 73

Expériences de M. Moissan, 73 ; — de MM. Morehead et de Chalmot, 75 ; — de MM. Bullier et de Perrodil, 75.

CHAP. VII. **Propriétés des carbures alcalino-terreux** . . 78

Chaleur de formation du carbure de calcium, 78. — Propriétés physiques, 79. — Propriétés chimiques, 80. — Composition, 84. — Propriétés du carbure de baryum, 84 ; — du carbure de strontium, 85. — Conclusions, 86. — Rôle géologique de ces carbures, 86.

Pages.

CHAP. VIII. **Prix de revient et rendement du carbure de calcium.** 89

Importance du prix de revient, 89. — Energie absorbée par la production du carbure de calcium, 89. — Eléments qui influent sur le prix de revient, 91. — Expériences faites à l'usine de Spray, 95. — Abaissements possibles du prix de revient, 98. — Rendement du carbure de calcium, 99.

CHAP. IX. **Préparation de l'acétylène.** 101

Modes de production de l'acétylène, 101. — Synthèse, 101. Préparation du chlorure cuivreux ammoniacal, 103. — Préparation de l'acétylure cuivreux, 104. — Préparation de l'acétylène par l'acétylure cuivreux, 107. — Préparation par les carbures alcalino-terreux, 108.

CHAP. X. **Classification des appareils à acétylène.** . . . 110

Echauffement et surproduction, 111. — Appareils de démonstration, 113.

CHAP. XI. **Générateurs fondés sur le principe du briquet à hydrogène.** 116

Appareil Trouvé, 116. — Appareil Dickerson, 118. — Appareil « At Home », 119. — Appareil Létang et Serpollet, 122. — Appareil Holliday, 123. — Appareil Gillet et Forest, 124. — Appareil Deroy fils, 125. — Appareil Prevost, 129. — Appareil Türr, 131.

CHAP. XII. **Générateurs à écoulement d'eau proportionnel au débit** 134

Appareil de la Société du gaz acétylène, 134. — Appareil Clausolles, 136. — Appareil Dickerson, 136. — Appareil « Le Phare », 138. — Appareil Bon, 141. — Appareil « Le Tsar », 143. — Appareil Leroy et Janson, 145. — Appareil Cerckel, 147. — Appareil de Resener et Luchaire, 148.

CHAP. XIII. **Générateurs à chute de carbure.** 152

Appareils Lequeux-Wiesnegg, 152. — Appareil Dickerson, 157. — Appareil de projections de la Société du gaz acétylène, 158. — Gazogène industriel, 158. — Appareil portatif Leroy et Janson, 160. — Appareil de la Société internationale de l'acétylène, 162. — Acétylénogène Patin, 162. — Appareil Seguin et de Perrodil, 165. — Appareils Beau et Bertrand-Taillet, 166.

CHAP. XIV. **Générateurs d'acétylène sous pression.** . . . 172

Appareils Ducretet et Lejeune, 172. — Appareil Dickerson,

Pages.

177. — Appareil Bullier, 179. — Appareil de la Compagnie P.-L.-M., 181.

CHAP. XV. **Acétylène liquide**. 184
Générateurs produisant l'acétylène liquide, 184. — Appareil Dickerson et Suckert, 184. — Appareil Raoul Pictet, 186. — Conservation et emploi de l'acétylène comprimé ou liquéfié, 187. — Robinet Ducretet et Lejeune, 188. — Récipient de sûreté de M. Fournier, 191.

CHAP. XVI. **Acétylène dissous**. 195
Procédé Claude et Hess, 195. — Expériences de MM. Berthelot et Vieille, 198.

CHAP. XVII. **Impuretés et purification de l'acétylène**. . 201
Impuretés, 201. — Purification, 202.

CHAP. XVIII. **Propriétés physiques de l'acétylène**. . . . 205
Caractères physiques, 205. — Solubilité, 206. — Liquéfaction, 206. — Propriétés de l'acétylène liquide, 208.

CHAP. XIX. **Propriétés chimiques de l'acétylène**. . . . 210
Propriétés chimiques, 210. — Action de la chaleur, des étincelles électriques et du choc, 211. — Action de l'hydrogène, 213. — Action du chlore, 214. — Action du brome, 217. — Action de l'iode, 218. — Action de l'oxygène et des oxydants, 219. — Action des métaux alcalins et alcalino-terreux, 221. — Action du fer, du nickel et du cobalt, 223. — Autres dérivés métalliques, 227. — Action des hydracides, 228. — Action de l'ammoniaque, de l'acide sulfurique, 229. — Composition, 230.

CHAP. XX. **Eclairage à l'acétylène**. 231
Combustion de l'acétylène, 231. — Produits de la combustion complète, 231. — Expériences de M. Gréhant, 232. — Expériences de M. Le Chatelier, 234. — Température d'inflammation, 235. — Limites d'inflammabilité, 235. — Vitesse de propagation de la flamme, 236. — Température de combustion, 237. — Température de la flamme de l'acétylène, 238. — Explication du pouvoir éclairant, 241. — Altération de l'air, 243.

CHAP. XXI. **Brûleurs à acétylène**. 245
Inconvénients des becs ordinaires, 245. — Mélange avec un gaz inerte, 246. — Mélange avec l'air, 246. — Becs Bullier, 247. — Bec Prevost, 251. — Bec de la Société internationale d'éclairage par le gaz d'huile, 252. — Bec Lebeau, 253. — Brûleurs à incandescence, 253. — Brûleurs à acétylène seul, 254. — Bec Clausolles, 255. — Bec de Perrodil, 256. — Bec de Resener et Luchaire,

Pages.

257. — Brûleurs spéciaux, 258. — Becs étalons, 258. — — Becs pour projections, photographies, etc., 260.

CHAP. XXII. **Lampes portatives** 263
Principe des lampes portatives, 263. — Lampe Trouvé, 264. — Lampe Bazin et Leroy, 266. — Lampe Türr, 266. — Lampe Richard-Choubersky, 268. — Lampe Deprez et Duthuit, 269. — Lampe Prevost, 270. — Lampe Gossart et Chevallier, 271. — Lampe Claude et Hess, 271. — Lampe Cerckel, 272. — Lampe Ducretet et Lejeune, 272. — Lampe Gearing, 273. — Lampes à acétylène liquide, 273.

CHAP. XXIII. **Prix de revient de l'éclairage à l'acétylène**. 276
Prix de revient et rendement du carbure de calcium, 276. — Prix de revient de l'acétylène, 276.

CHAP. XXIV. — **Eclairage des voitures et des wagons de chemins de fer** 280
Eclairage des voitures, 280. — Eclairage des wagons des chemins de fer, 281 : P.-L.-M., 281 ; Est, 286 ; Ouest, 288. — Eclairage par un mélange d'acétylène et de gaz d'huile, 289.

CHAP. XXV. **Applications diverses à l'éclairage**. . . . 290
Emploi du carbure de calcium dans les lampes à incandescence, 290. — Carburation du gaz de houille, 291. — Réduction de la dépense, 295. — Remarque sur les propriétés du gaz de houille, 297. — Dessiccation du gaz d'éclairage par le carbure de calcium, 300.

CHAP. XXVI. **Chauffage et force motrice** 304
Chauffage à l'acétylène, 304. — Pouvoir calorifique du gaz de houille, 304. — Pouvoir calorifique de l'acétylène, 306. — Application de l'acétylène aux moteurs, 307. — Machines marines, 308. — Moteur pour bicyclettes, 309. — Expériences de M. Ravel, 310.

CHAP. XXVII. **Applications chimiques** 317
Importance de l'acétylène dans la chimie organique, 317. — Fabrication du diiodoforme, 317. — Préparation des corps de la série aromatique, 318. — Préparation des corps de la série grasse, 319. — Préparation de l'acide prussique et des cyanures, 319. — Fabrication de l'alcool par synthèse, 320. — Fabrication du sucre, 326. — Applications à la métallurgie, 327.

CHAP. XXVIII. **Inconvénients de l'acétylène** 328
Inconvénients reprochés à l'acétylène, 328. — Odeur, 328. Action sur le cuivre et les autres métaux, 329.

Pages.

CHAP. XXIX. — **Toxicité de l'acétylène**. 331

Toxicité de l'acétylène, 331. — Expériences de MM. Berthelot, Cl. Bernard et Brociner, 331. — Expériences de MM. Malvoz et Crismer, 334. — Expériences de M. Birchmore, 335. — Expériences de M. Moissan, 336. — Expériences de M. Gréhant, 336. — Comparaison de l'acétylène et du gaz d'éclairage, 343. — Séparation de l'acétylène et de l'oxyde de carbone, 343. — Élimination de l'acétylène après un empoisonnement partiel, 344. — Toxicité des produits de combustion de l'acétylène, 345. — Action de la flamme de l'acétylène sur l'organe de la vue, 347. — Rôle antiseptique de l'acétylène, 347.

CHAP. XXX. **Explosibilité de l'acétylène**. 349

Explosion des mélanges d'acétylène et d'air, 349. — Expériences de M. Gréhant, 349. — Précautions nécessaires, 352. — Propriétés explosives de l'acétylène seul, 355. — Expériences de M. Berthelot, 357. — Expériences de M. Maquenne, 358. — Expériences de MM. Berthelot et Vieille, 358. — Détonation par une cartouche au fulminate de mercure, 364. — Pressions limites, 365. — Aptitude à la détonation de l'acétylène dissous, 367. — Aptitude à l'inflammation de l'atmosphère saturée et de la dissolution, 368.

CHAP. XXXI. **Explosions des récipients à gaz comprimés ou liquéfiés**. 373

Causes d'explosion des récipients à gaz comprimés ou liquéfiés, 373. — Expériences de M. Bach, 374.

CHAP. XXXII. **Règlements administratifs concernant la préparation et l'emploi de l'acétylène**. . 380

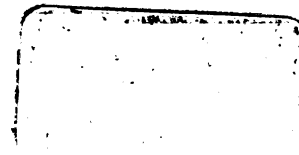
Rapport de M. Vieille au Conseil d'hygiène (17 juillet 1896) sur la préparation et l'emploi du gaz acétylène pour l'éclairage, 380. — Ordonnance concernant l'emploi des appareils à acétylène d'un débit journalier inférieur à 10 m^3, 387. — Circulaire de la Préfecture de police, 390. — Rapport de M. Vieille au nom de la Commission dite « de l'acétylène » et approuvé par le Conseil d'hygiène et de salubrité de la Seine, 392.

Conclusion. 399

Appendice. Rapport de M. Vieille sur une fabrique de gaz acétylène comprimé, 405.

Table alphabétique. 417

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

CHARTRES. — IMPRIMERIE DURAND, RUE FULBERT.

JUL 5 - 1934